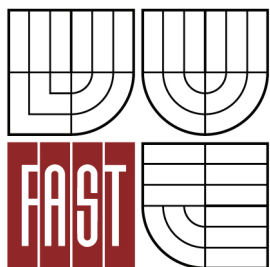




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

# NÁVRH SMĚSI TYPU ASFALTOVÝ BETON A STANOVENÍ ODOLNOSTI PROTI ÚČINKŮM VODY

DESIGN OF ASPHALT CONCRETE MIXTURE AND DETERMINATION OF WATER RESISTANCE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

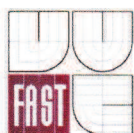
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JAROSLAV RENZA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. MICHAL VARAUS

BRNO 2014



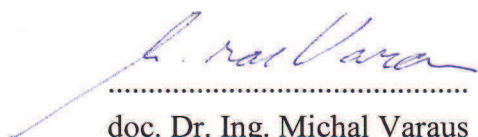
# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav pozemních komunikací

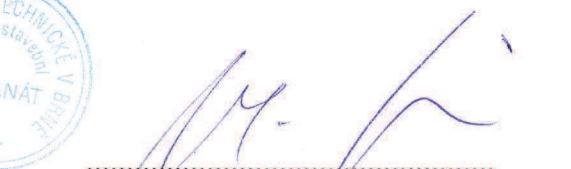
## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Jaroslav Renza
<b>Název</b>	Návrh směsi typu asfaltový beton a stanovení odolnosti proti účinkům vody
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	doc. Dr. Ing. Michal Varaus
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2013
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013



doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT



## **Podklady a literatura**

ČSN EN 13108-1 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 1: Asfaltový beton

ČSN 73 6160 Zkoušení asfaltových směsí

Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě

Sborníky z konferencí - Asfaltové vozovky 2005, 2007, 2009, 2011, 2013

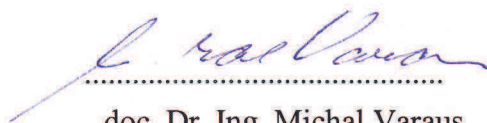
## **Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)**

Provést návrhy asfaltové směsí typu asfaltový beton podle návrhu národní přílohy revidované normy ČSN EN 13108-1 Asfaltový beton. V návaznosti na návrhy směsí bude porovnána její odolnost proti účinkům vody.

## **Struktura bakalářské/diplomové práce**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí bakalářské práce

**Abstrakt**

Tato bakalářská práce popisuje a zkouší asfaltové směsi typu asfaltový beton podle návrhu národní přílohy revidované normy ČSN EN 13108-1 Asfaltový beton. V návaznosti na návrhy směsi byla porovnána její odolnost proti účinkům vody.

**Klíčová slova**

Asfaltová směs, pojivo, asphalt, kamenivo, odolnost proti účinkům vody

**Abstract**

This bachelor's thesis describes and tests designs of asphalt mixtures of the type asphalt concrete according to the National Annex of the revised standards ČSN EN 13108-1 Asphalt concrete. Designs of mixture were followed by comparing of its resistance to water.

**Keywords**

The asphalt mixture, binder, asphalt, aggregate, resistance to water

### **Bibliografická citace VŠKP**

Jaroslav Renza *Návrh směsi typu asfaltový beton a stanovení odolnosti proti účinkům vody*. Brno, 2014. 66 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 28.5.2014

.....  
podpis autora  
Jaroslav Renza

# PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 28.5.2014

.....  
podpis autora  
Jaroslav Renza

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat panu doc. Dr. Ing. Michalu Varausovi za odborné vedení, poskytnutí užitečných materiálů a vstřícnou pomoc. Dále bych rád poděkoval všem pracovníkům ze zkušební laboratoře pozemních komunikací FAST. Také děkuji rodině a přátelům za podporu během mého studia.



# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Cíl diplomové práce.....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>Teoretická část .....</b>	<b>13</b>
3.1	Asfaltová směs typu asfaltový beton.....	13
3.1.1	Funkce.....	13
3.1.2	Charakteristiky .....	13
3.1.3	Historický vývoj .....	13
3.1.4	Užití ve vozovce .....	13
3.1.5	Označení AC dle použití v konstrukčních vrstvách vozovky .....	13
3.1.6	Označení AC podle nehrubší použité frakce kameniva.....	14
3.1.7	Označení AC podle kvalitativních požadavků.....	14
3.2	Kamenivo .....	15
3.3	Asfaltové pojivo .....	16
<b>4</b>	<b>Praktická část.....</b>	<b>17</b>
4.1	Zkoušky kameniva .....	17
4.1.1	Stanovení zrnitosti – Sitový rozbor .....	17
4.1.2	Tvarový index .....	29
4.1.3	Metody pro stanovení odolnosti proti drcení (Los Angeles) .....	30
4.2	Zkoušky silničního asfaltu .....	32
4.2.1	Stanovení penetrace jehlou .....	32
4.2.2	Bod měknutí – Metoda kroužek a kulička .....	35
4.3	Asfaltové směsi .....	38
4.3.1	Návrh asfaltových směsí .....	38

4.3.2	Obory zrnitosti kameniva.....	38
4.3.3	Navržená čára zrnitosti ACO 11+.....	38
4.3.4	Návrh množství pojiva .....	39
4.3.5	Výpočet množství pojiva pro ACO 11+ .....	39
4.3.6	Výroba zkušebních vzorků – Marshallových těles .....	40
4.4	Zkoušky asfaltových směsí .....	42
4.4.1	Stanovení maximální objemové hmotnosti.....	43
4.4.2	Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa.....	45
4.4.3	Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí .....	47
<b>5</b>	<b>Odolnost asfaltových směsí proti účinkům vody .....</b>	<b>48</b>
5.1	Postup vyhotovení.....	50
5.1.1	Temperování .....	50
5.2	Postup zkoušky.....	51
5.3	Stanovení pevnosti v příčném tahu .....	51
5.3.1	Výsledky zkoušky.....	52
5.3.2	Celkové výsledky ITSR.....	53
5.3.3	Výstupní hodnoty ze zkušební lisu zkoušky ITSR .....	54
5.4	Srovnání s jinými Akreditovanými laboratořemi.....	58
<b>6</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>60</b>
<b>8</b>	<b>Seznam internetových zdrojů .....</b>	<b>62</b>
<b>9</b>	<b>Seznam použitých zkratk .....</b>	<b>63</b>
<b>10</b>	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>64</b>
<b>11</b>	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>65</b>
<b>12</b>	<b>Seznam grafů .....</b>	<b>66</b>

# 1 Úvod

Podnětem ke zpracování bakalářské práce je revize norem pro asfaltové směsi řady ČSN EN 13108. V rámci této revize bylo u normy ČSN EN 13108-1 Asfaltový beton rozhodnuto, že nebudou nadále používány asfaltové směsi ACO S, tedy směsi určené pro nejvyšší dopravní zatížení. Důvod je takový, že vrstvy ACO S mají nižší obsah pojiva, ne zcela plynulou čáru zrnitosti a kamenivo je pouze drcené. Tyto vrstvy se hůře zhutňují, bývají více mezerovité, čímž dochází k rychlejšímu stárnutí (nastává ztráta hmoty z krytu, koroze a výtluky) a tím i degradace vrstvy.

U směsí ACO + pro střední zatížení III – V je snahou dosáhnout vyšší trvanlivosti úpravou požadavků na tyto směsi. Jedná se o zvýšení obsahu asfaltového pojiva, úpravy čáry zrnitosti a zúžení požadavku na mezerovitost. V bakalářské práci se zabývám návrhem tohoto typu směsi s následným stanovením odolnosti proti účinkům vody dle normy ČSN EN 12697-12.

Tato práce začíná provedením zkoušek kameniva a asfaltového pojiva a dále návrhem a skutečnou výrobou asfaltové směsi. Na navržené směsi jsem provedl již zmíněnou zkoušku odolnosti proti účinkům vody (ITSR). Dále je cílem bakalářské práce porovnat výsledky ze zkoušek (ITSR) s výsledky z ostatních akreditovaných laboratoří, které se zapojily do srovnávacích zkoušek společně s laboratoří VUT. Větší počet výsledků by měl potvrdit nebo upravit stávající požadavek na ITSR v citované normě ČSN EN 13108-1 Asfaltový beton.

Dále bych rád poukázal na skutečnost, že současně s touto prací byla zpracována další bakalářská práce mého kolegy Jana Němce, s nimž jsem absolvoval některé zkoušky a který se dále zabýval odolností proti tvorbě trvalých deformací.

## **2 Cíl bakalářské práce**

Cílem bakalářské práce je teoreticky a prakticky navrhnout a posoudit směs typu asfaltový beton pro obrusné vrstvy (ACO) dle upravených požadavků a provést následnou zkoušku odolnosti proti účinkům vody. Návrhy směsí a následné zkoušení odolnosti proti účinkům vody se provede s běžným silničním pojivem Total 50/70 a modifikovaným asfaltem PMB 45/80-65. Výsledky zkoušek se nakonec porovnají s ostatními výsledky z akreditovaných laboratoří a posoudí se s ohledem na požadované mezní hodnoty.

## **3 Teoretická část**

### **3.1 Asfaltová směs typu asfaltový beton [6]**

#### **3.1.1 Funkce**

- Dobrá schopnost přenášet svislé účinky vyvolané dopravou.
- Zajistit bezpečný provoz na komunikaci.
- Odolávat povětrnostním vlivům.
- Dobrá udržitelnost.
- Lehká opravitelnost.

#### **3.1.2 Charakteristiky**

Směs má plynulou čáru zrnitosti a je zastoupena rovnoměrně kamenivem různých frakcí.

#### **3.1.3 Historický vývoj**

Dříve se asfaltový beton (AB), který se používal jak pro obrusné, tak i pro ložní vrstvy, používal také jako obalované kamenivo (OK) pro ložní a obrusné vrstvy. Obě směsi měly podobné vedení čáry zrnitosti. Dnes se používá jednotný název Asfaltový beton s označením AC - z anglického výrazu Asphalt Concrete.

#### **3.1.4 Užití ve vozovce**

Asfaltobetonové vozovky jsou nejpoužívanější a nejrozšířenější druh asfaltové směsi. Použití směsi je ve všech vrstvách vozovky, tedy jak v obrusné, ložní a podkladní vrstvě, tak i ve vyrovnávací.

#### **3.1.5 Označení AC dle použití v konstrukčních vrstvách vozovky**

- ACO – Asfaltový beton pro obrusné vrstvy
- ACL – Asfaltový beton pro ložní vrstvy
- ACP – Asfaltový beton pro podkladní vrstvy

### 3.1.6 Označení AC podle nejhrubší použité frakce kameniva

Označení AC (X) – kde X je označení horní velikosti oka nejhrubšího použitého síta.

### 3.1.7 Označení AC podle kvalitativních požadavků

- S – směs, která má zvýšenou odolnost proti tvorbě trvalých deformací. Dle dřívějšího předpisu TP 109, směsi se hutní 75 úderů z každé strany Marshallova tělesa při laboratorním návrhu. A 50 úderů z každé strany pro ostatní obrusné a ložní vrstvy s nižším dopravním zatížením a též do podkladních vrstev.
- (+,-) – směs, která nahrazuje kvalitativní třídu I dle ČSN 73 6121, směsi jsou hutněny 50 úderů z každé strany Marshallova tělesa.
- \_ – směs, bez označení, která nahrazuje kvalitativní třídu II a III dle ČSN 73 6121. Směsi jsou hutněny 50 úderů z každé strany Marshallova tělesa.
- CH – směs, pro nemotoristickou komunikaci, dle dřívějšího předpisu TP 170 (Navrhování vozovek pozemních komunikací). Směsi jsou hutněny 50 úderů z každé strany Marshallova tělesa.

Tabulka 1: Označení asfaltového betonu dle normy ČSN EN 13 108-1 (nové a staré) [6]

Označení asfaltového betonu			
Obrusné vrstvy		Ložní vrstvy	
ČSN EN 13108-1:2008	ČSN 73 6121:1994 a další předpisy <sup>7)</sup>	ČSN EN 13108-1:2008	ČSN 73 6121:1994 a další předpisy <sup>7)</sup>
ACO 8	ABJ II	ACL 16 S	ABH I (0/16) – TP 109
ACO 8 CH	ABJ II, III	ACL 16 +	ABH I
ACO 11 S	ABS I (0/11) – TP 109	ACL 16	ABH II, III, OKS I
ACO 11 +	ABS I	ACL 22 S	ABVH I (0/22) – TP 109
ACO 11	ABS II, III	ACL 22 +	ABVH I
ACO 16 S	ABH I (0/16) – TP 109	ACL 22	ABVH II, III, OKH I
ACO 16 +	ABH I	Podkladní vrstvy	
ACO 16	ABH II, III	ACP 16 S	–
		ACP 16 +	OKS I, II
		ACP 22 S	OKH I (0/22) – TP 109
		ACP 22 +	OKH I, II



## 3.2 Kamenivo

Kamenivo (moravská droba) bylo přivezeno z kamenolomu Luleč, který se nachází v okrese Vyškov přibližně severo-východně od Brna. Vápenková moučka (filer) byla dovezena z lokality Mokrá. Volila se frakce s ohledem na naší navrhovanou výslednou směs ACO 11+ (do maximální velikosti zrna 11mm), tedy 0 - 4, 4 - 8, 8 - 11, které byly následně zkoušeny dle platných norem pro kamenivo. [A]



*Obrázek 1: Frakce kameniva 0-4 mm*



*Obrázek 2: Frakce kameniva 4-8 mm*



*Obrázek 3: Frakce kameniva 8-11 mm*

### 3.3 Asfaltové pojivo

Do asfaltových směsí se nejčastěji využívají ropné asfalty získané jako zbytek po vakuové destilaci surové ropy s nejvyšším bodem varu. Pro asfaltové směsi pro naše účely byl požadavek na asfalt Total 50/70 a dále modifikovaný PMB 45/80-65, které jsme podrobily zkouškám dle platných norem. [A]



*Obrázek 4: Používané pojivo*

## 4 Praktická část

### 4.1 Zkoušky kameniva

Zde jsou vypsané normy, které byly použity na zkoušení kameniva při našem návrhu asfaltové směsi. Normy jsou dále podrobněji rozepsány v následujících kapitolách.

- ❖ ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor
- ❖ ČSN EN 933-4 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 4: Stanovení tvaru zrn – Tvarový index
- ❖ ČSN EN 1097-2 Zkoušení mechanických vlastností kameniva – Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení

#### 4.1.1 Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor

##### Podstata zkoušky:

Zkouška se skládá z roztřídění a oddělení materiálu pomocí sady sít do několika frakcí se sestupnou velikostí otvorů. Otvory sít a počet sít jsou vybrány dle druhu vzorků a požadované přesnosti. [1]

##### Postup zkoušky:

##### 1. Praní:

Zkušební navážka se vloží do nádoby a přidá se dostatečné množství vody, aby kamenivo bylo zcela pod vodou (uložení pod vodou po dobu 24 hodin pomáhá rozpustit hrudky, může se použít disperzní činidlo).

Vzorek se dostatečně promíchá, aby se dosáhlo dokonalého oddělení jemných částí.

Síto 0,063 mm, které se používá pouze pro tuto zkoušku, se navlhčí z obou stran a na toto síto se nasadí ochranné síto (např. 2mm). Síta se umístí tak aby roztok, který protéká zkušebním sítem, mohl odtékat do odpadu nebo, když je požadováno, byl zadržen ve vhodné nádobě. Obsah nádoby se vylévá na horní síto. Praní pokračuje tak dlouho, až je voda protékající sítem 0,063 mm čirá. (pozn. Je nutno dbát na to, aby nedošlo k přetížení, přeplnění nebo k poškození síta 0,063mm nebo ochranného síta. Pro některé kamenivo bude nezbytné, aby se prolévala přes ochranné síto a síto 0,063mm pouze suspenze

s jemnými částicemi a promývání hrubých částic pokračovalo v nádobě, a teprve následně se slévala suspenze s jemnými částicemi na ochranné síto, až voda protékající sítem 0,063mm je čirá.)

Zůstatek na sítě 0,063 mm se vysuší při  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  do ustálené hmotnosti. Nechá se vychladnout, zváží se a zaznamená hmotnost jako  $M_2$ . [1]

## 2. Prosévání:

Vypraný a vysušený materiál (nebo přímo vysušený vzorek) se nasype na síta, která jsou sestavena do sloupce. Sloupec se sestává ze sít spolu sestavených, přičemž síto nahoře má největší otvory a postupně dolů jsou síta s menšími otvory: na horním sítu je víko, na dolním je dno. (pozn. Zkušenost ukázala, že praním se zcela neodstraní všechny jemné částice, proto je nutné vložit do sady sít také zkušební síto 0,063mm.)

Sloupcem sít se ručně nebo mechanicky otřásá, pak se postupně odebírají jednotlivá síta. Nejdříve se odebere síto s největšími otvory a ručně se na jednotlivých sítích ještě dokončí prosévání, přičemž musí být zabráněno ztrátám materiálu, použitím dna a víka.

Všechny materiál, který propadne sítem, se přidá na další síto ve sloupci před pokračováním prosévání na tomto síti. (pozn. Prosévání možno ukončit, když zůstatek na síti se během prosévání po dobu 1 minuty nemění o více než 1%)

Aby se zabránilo přetížení sít, množství materiálu na každém síti (v gramech) po ukončení prosévání nesmí být větší než:

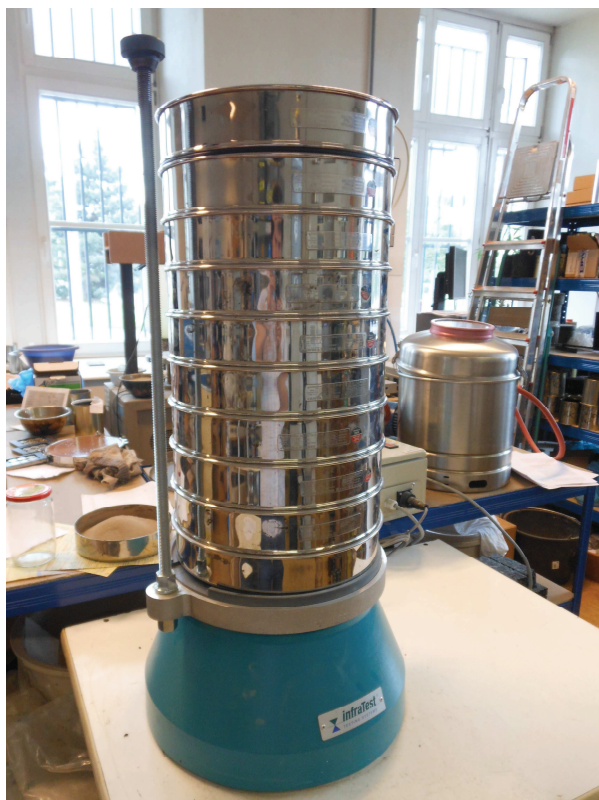
$$\frac{A \cdot \sqrt{d}}{200},$$

kde  $A$  je plocha síta ve čtverečních milimetrech,  
 $d$  je velikost otvoru síta v milimetrech.

Jestliže některý ze zůstatků na síti přesáhne tuto hodnotu, použije se jeden z následujících postupů:

- zůstatek se rozdělí na díly menší než je stanovené maximum a odděleně se prosévá.
- část vzorku, který propadl nejbližší za vyšším sítem, se zmenší děličem vzorků nebo kvartací a v prosévání se pokračuje na zmenšeném vzorku, přičemž se toto zmenšení musí vzít v úvahu při výpočtu. [1]





Obrázek 5: Sloupec sít s mechanickým stříásáním „střísač“ [1]

### 3. Vážení:

Zváží se zůstatek na síti s největšími otvory a zaznamená se jeho hmotnost jako  $R_1$ . Stejná operace se provede se zůstatkem na dalším síti a zaznamená se jeho hmotnost jako  $R_2$ . Pokračuje se stejným způsobem s dalšími síty ve sloupci k zjištění zůstatku na jednotlivých sítích a tyto se zaznamenají jako hmotnosti  $R_3, R_4, \dots, R_n$ .

Pokud propadly síty jemné částice na dno, zaznamená se jejich hmotnost jako  $P$ . [1]

### Výpočet a vyjádření výsledků

#### Výpočty:

Všechny hmotnosti se zaznamenají ve zkušebním protokolu, jehož příklad je uveden v příloze C. Vypočtou se hmotnosti zůstatků na každém síti jako procento hmotnosti původní vysušené navážky  $M_1$ . Vypočtou se součtová procenta hmotnosti původní navážky, které propadly každým sítem od shora dolů kromě síta 0,063 mm.

Vypočte se procento jemných částic ( $f$ ), které propadly sítem 0,063 mm podle následujícího vztahu:

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 ,$$

kde  $M_1$  je hmotnost vysušené zkušební navážky, v kilogramech,  
 $M_2$  hmotnost vysušeného zůstatku na síť 0,063, v kilogramech,  
 $P$  hmotnost propadu jemných částic na dně, v kilogramech. [1]



## Výsledky:

### 1) Kamenivo: Kamenná moučka (filer)

Tabulka 2: Stanovení obsahu jemných částic a zrnitosti fileru

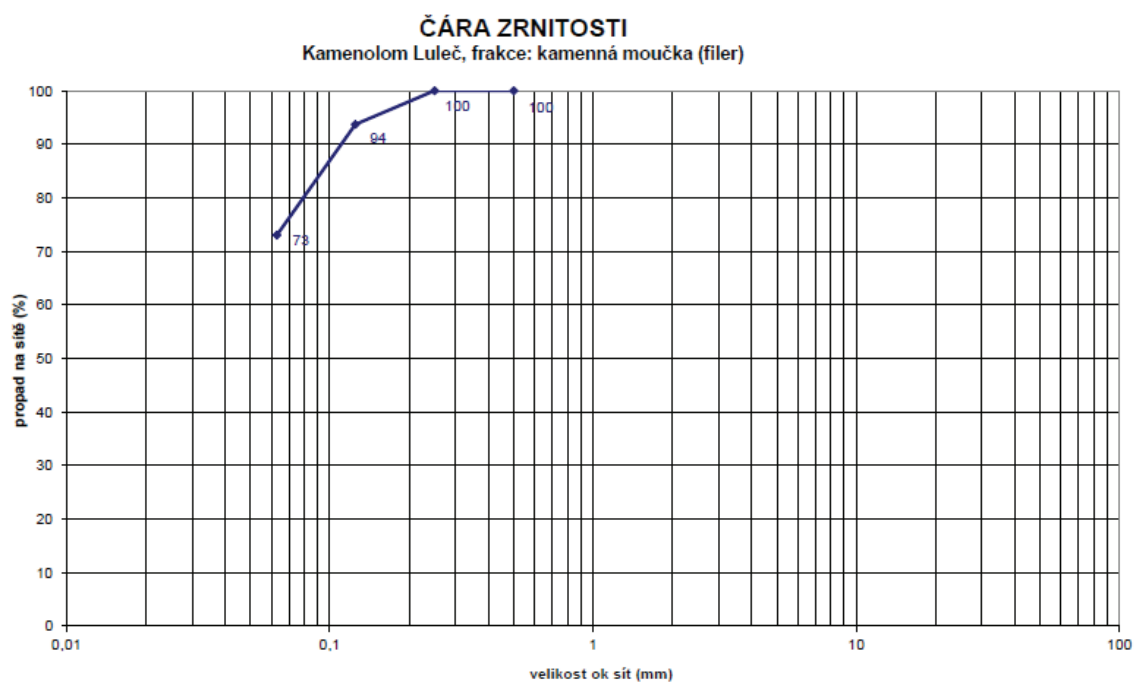
1. Stanovení obsahu jemných částic		Kamenná moučka (Filer)
Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ ):		205,0
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ ):		58,9
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):		3,4
Obsah jemných částic:	$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100\%$	72,9

### 2. Stanovení zrnitosti:

Vel.ok sít		Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]		[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125		0,0	0	0	100
90		0,0	0	0	100
63		0,0	0	0	100
45		0,0	0	0	100
31,5		0,0	0	0	100
22,4		0,0	0	0	100
16		0,0	0	0	100
11,2		0,0	0	0	100
8		0,0	0	0	100
5,6		0,0	0	0	100
4		0,0	0	0	100
2		0,0	0	0	100
1		0,0	0	0	100
0,5		0,0	0	0	100
0,25		0,0	0	0	100
0,125		12,9	6	6	94
0,063		42,3	20,7	27,0	73,0
Dno	síťový rozbor P	3,4	73,0	100,0	0,0
	jemné částice ( $M_1 - M_2$ )	146,1			
Celkem		204,7			

## 1a) Graf zrnitosti kameniva: Kamenná moučka (filer)

Graf 1: Čára zrnitosti fileru



## 2) Kamenivo: 0/4 mm

Tabulka 3: Stanovení obsahu jemných částic a zrnitosti frakce 0/4

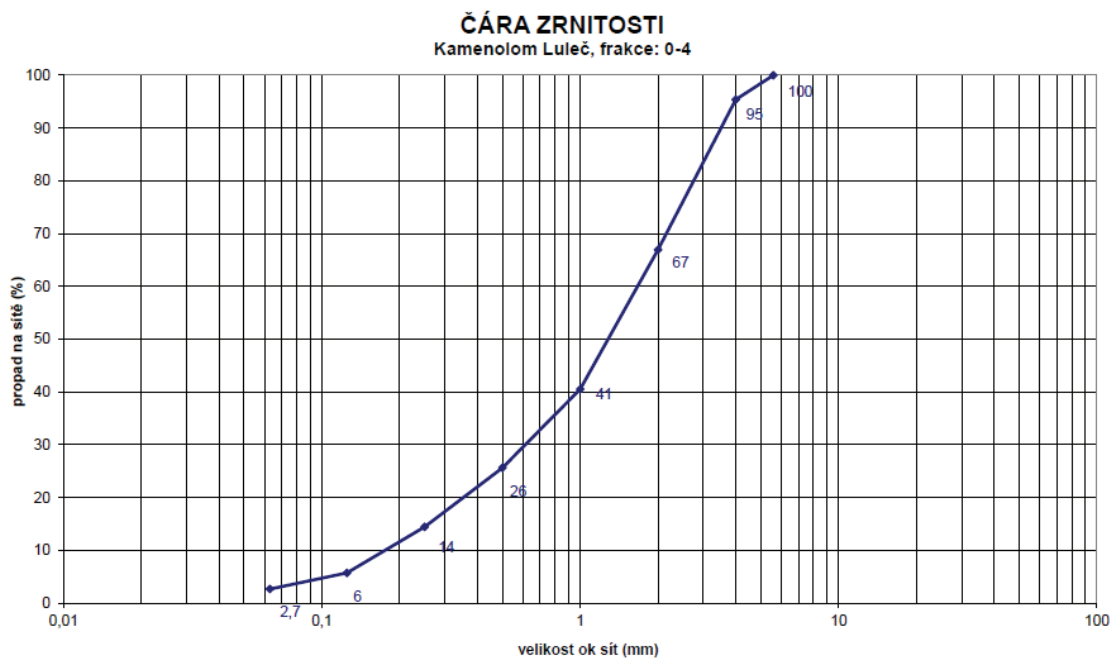
1. Stanovení obsahu jemných částic		0-4
Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ ):		218,5
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ ):		213,4
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):		0,7
Obsah jemných částic:	$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100\%$	2,7

### 2. Stanovení zrnitosti:

Vel.ok sít		Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]		[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125		0,0	0	0	100
90		0,0	0	0	100
63		0,0	0	0	100
45		0,0	0	0	100
31,5		0,0	0	0	100
22,4		0,0	0	0	100
16		0,0	0	0	100
11,2		0,0	0	0	100
8		0,0	0	0	100
5,6		0,0	0	0	100
4		10,1	5	5	95
2		62,1	28	33	67
1		57,6	26	59	41
0,5		32,6	15	74	26
0,25		24,4	11	86	14
0,125		19,0	9	94	6
0,063		6,7	3	97,3	2,7
Dno	sítový rozbor P	0,7	2,7	100,0	0,0
Dno	jemné částice ( $M_1 - M_2$ )	5,1			
Celkem		218,3			

## 2a) Graf zrnitosti kameniva: 0/4

Graf 2: Čára zrnitosti frakce 0/4



### 3) Kamenivo: 4/8 mm

Tabulka 4: Stanovení obsahu jemných částic a zrnitosti frakce 4/8

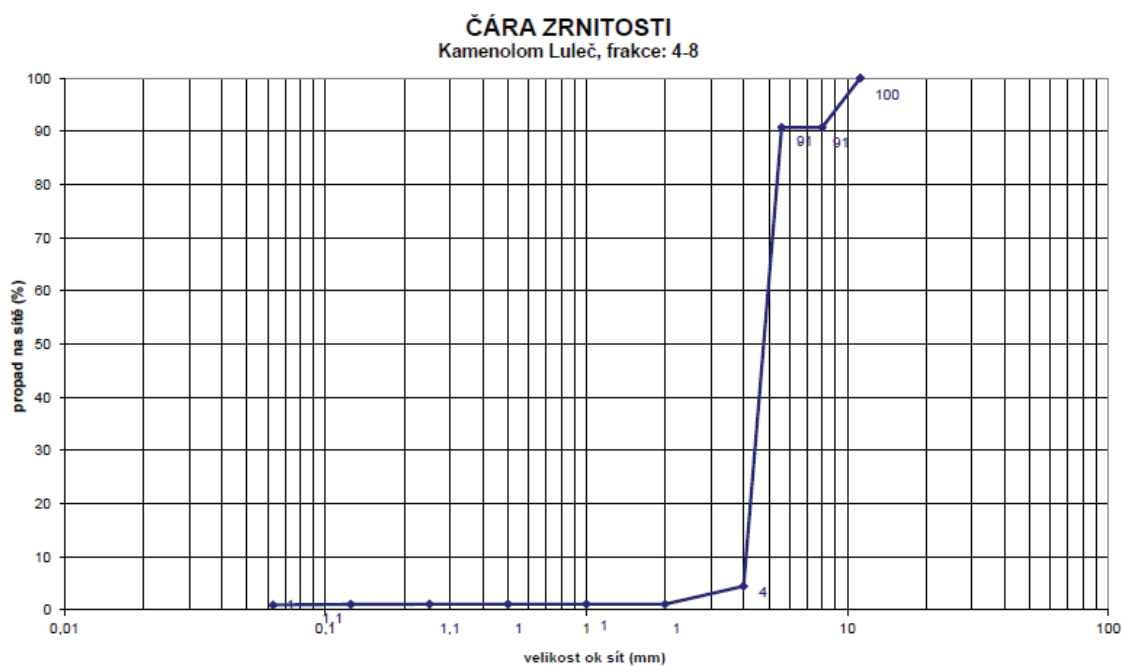
1. Stanovení obsahu jemných částic		4-8
Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ ):		817,0
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ ):		809,3
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):		0,2
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$ (%)		1,0

#### 2. Stanovení zrnitosti:

Vel.ok sít		Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]		[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125		0,0	0	0	100
90		0,0	0	0	100
63		0,0	0	0	100
45		0,0	0	0	100
31,5		0,0	0	0	100
22,4		0,0	0	0	100
16		0,0	0	0	100
11,2		0,0	0	0	100
8		75,8	9	9	91
5,6		0,0	0	9	91
4		704,3	86	96	4
2		27,5	3	99	1
1		0,1	0	99	1
0,5		0,0	0	99	1
0,25		0,0	0	99	1
0,125		0,3	0	99	1
0,063		0,9	0	99,0	1,0
Dno	sítový rozbor P	0,2	1,0	100,0	0,0
	jemné částice ( $M_1 - M_2$ )	7,7			
Celkem		816,8			

### 3a) Graf zrnitosti kameniva: 4/8 mm

Graf 3: Čára zrnitosti frakce 4/8





#### 4) Kamenivo: 8/11 mm

Tabulka 5: Stanovení obsahu jemných částic a zrnitosti frakce 8/11

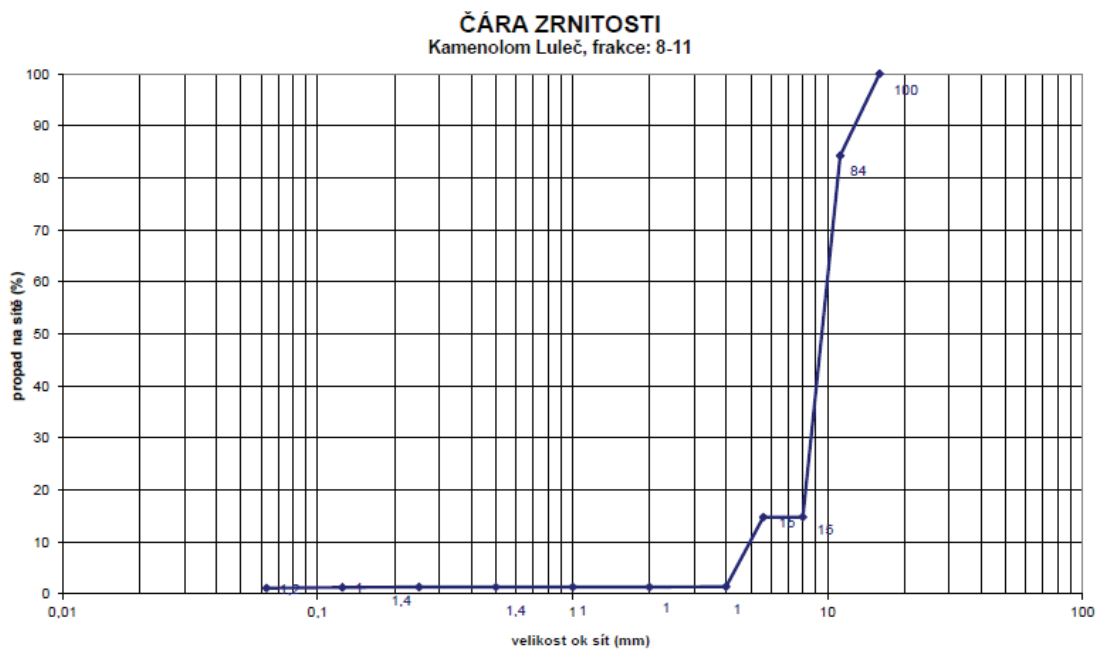
1. Stanovení obsahu jemných částic		8-11
Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ ):		2030,8
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ ):		2008,7
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):		1,3
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$ (%)		<b>1,2</b>

#### 2. Stanovení zrnitosti:

Vel.ok síť		Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]		[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125		0,0	0	0	<b>100</b>
90		0,0	0	0	<b>100</b>
63		0,0	0	0	<b>100</b>
45		0,0	0	0	<b>100</b>
31,5		0,0	0	0	<b>100</b>
22,4		0,0	0	0	<b>100</b>
16		0,0	0	0	<b>100</b>
11,2		319,1	16	16	<b>84</b>
8		1410,9	69	85	<b>15</b>
5,6		0,0	0	85	<b>15</b>
4		271,6	13	99	<b>1</b>
2		1,1	0	99	<b>1</b>
1		0,1	0	99	<b>1</b>
0,5		0,1	0	99	<b>1</b>
0,25		0,1	0	99	<b>1</b>
0,125		1,1	0	99	<b>1</b>
0,063		3,1	0	98,8	<b>1,2</b>
Dno	síťový rozbor P	1,3	1,2	100,0	0,0
Dno	jemné částice (M1 - M2)	22,1			
Celkem		2030,6			

#### 4a) Graf zrnitosti kameniva: 8/11 mm

Graf 4: Čára zrnitosti frakce 8/11



#### Závěr:

Ze zkoušky vyplývá, že součet hmotností  $R_i$  a  $P$  se neliší o více jak 1% od hmotnosti  $M_2$ . Tedy zkouška je platná.

### 4.1.2 Tvarový index

#### Podstata zkoušky:

Jednotlivá zrna ve vzorku hrubého kameniva jsou roztríděována na základě poměru jejich délky  $L$  k tloušťce  $E$  obvykle pomocí dvoučelistového posuvného měřítka.

Tvarový index se vypočte jako hmotnostní podíl zrn, jejichž poměr rozměrů  $L/E$  je větší než 3 a vyjádří se jako procento celkové hmotnosti zkoušených zrn. [2]

Hmotnosti navážek se váží dle tabulky:

Tabulka 6: Hmotnost zkušebních navážek [2]

Horní velikost zrna $D$ [mm]	Hmotnost zkušební navážky [kg]
16	1
8	0,1

#### Zkušební postup:

##### 1. Obecně

Navážíme si danou frakci 8 - 11 a poté provedeme měření pomocí dvoučelistového posuvného měřítka.

Vzorky dělíme do nádob na kubická a nekubická zrna. Po takto rozdělené navážce provedeme změření hmotnosti nekubických zrn. Výsledek dané zkoušky se stanoví dle vzorce. [2]



Obrázek 6: Dvoučelistové posuvné měřítko

## Výpočet a vyjádření výsledků:

### Výpočty:

Tvarový index (SI) se vypočte podle následujícího vztahu:

$$SI = \frac{(M_2)}{M_1} \times 100,$$

kde  $M_1$  je hmotnost zkušební navážky v gramech,  
 $M_2$  hmotnost nekubických zrn v gramech.

Zaznamená se tvarový index, zaokrouhlený na celé číslo. [2]

### Výsledky:

Tabulka 7: Výsledky zkoušky tvarového indexu

Frakce kameniva	$M_1$ (nekubická zrna) [g]	$M_2$ (hmotnost navážky) [g]	SI [%]
8-11	101	26,4	26,1
8-11	153,8	43,2	28,1
8-11	302,9	77,6	25,6

### Závěr:

Průměrný tvarový index činí 26,6% nekubických zrn ku celkové navážce. Dle normy ČSN EN 13108 je mezní hodnota pro ohrusné vrstvy 30%.

## 4.1.3 Metody pro stanovení odolnosti proti drčení (Los Angeles)

### Podstata zkoušky:

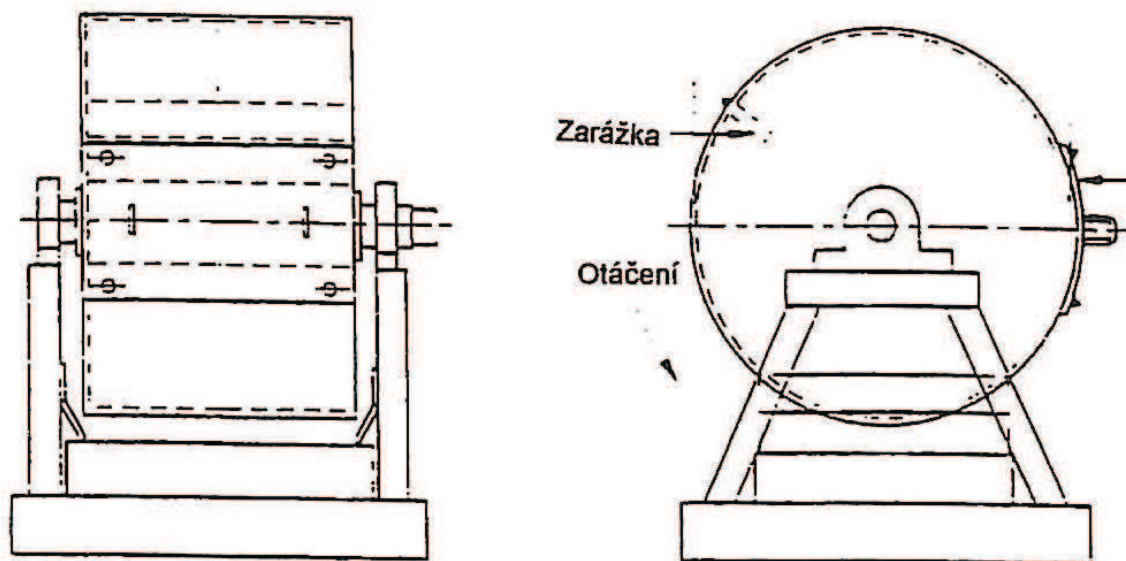
Vzorek kameniva se omílá ocelovými koulemi při otáčení bubnu. Po předepsaném počtu otáčení bubnu se zjistí množství materiálu, které zůstane na síti 1,6 mm. [3]

### Postup zkoušky:

Před naplněním bubnu je nutno zkontrolovat čistotu bubnu. Nejdříve se do bubnu opatrně vloží ocelové koule a dále zkušební navážka. Uzavře se otvor a buben se otočí 500 krát při stejné rychlosti 32 otáček za minutu.

Po ukončení otáčení bubnu se vyjme kamenivo a koule do misky, která se umístí pod buben, aby nedošlo ke ztrátě materiálu. Při tom se vyčistí buben včetně jemných součástí, přičemž je nutno věnovat zvlášť pozornost okolo přepážky uvnitř bubnu. Pak se opatrně vyjmu koule z misky tak, aby nedošlo ke ztrátě žádných jemných částí.

Následuje síťový rozbor materiálu. Praním a proséváním s použitím síta 1,6 mm poté se zůstatek na síti 1,6 mm vysuší při teplotě  $(110 \pm 8)^\circ\text{C}$  do ustálené hmotnosti. [3]



Obrázek 7: Typický otlukový buben pro zkoušku Los Angeles [3]

### Výpočet a vyjádření výsledků:

#### Výpočty:

Součinitel Los Angeles LA se vypočte podle vztahu:

$$LA = \frac{5000 - m}{50},$$

kde  $m$  je hmotnost zůstatku na síti 1,6 mm v gramech. [3]

#### Výsledky:

Tabulka 8: Výsledky stanovení odolnosti proti drcení (Los Angeles)

Frakce [mm]	Hmotnost kameniva [g]	Zůstatek na síti 1,6 mm [g]	LA [%]
8/11	5000	1044	20,9

## **Závěr:**

Po omílání kameniva 8/11 byla stanovená odolnost proti drcení - Los Angeles činící 20,9%. Dle ČSN EN 13108 je mezní hodnota pro ohrusné vrstvy 25%.

## **4.2 Zkoušky silničního asfaltu**

Zde jsou vypsané normy, které byly použity na zkoušení silničního asfaltového pojiva při našem návrhu asfaltové směsi. Normy jsou dále podrobněji rozepsány v následujících kapitolách.

- ❖ ČSN EN 1426 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou
- ❖ ČSN EN 1427 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička

### **4.2.1 Stanovení penetrace jehlou**

#### **Podstata metody:**

Změří se průnik normalizované jehly do vytemperovaného analytického vzorku. Zkušební podmínky zkoušky pro penetraci do 330 x 0,1 mm jsou teplota 25°C, aplikované zatížení 100 g a doba zatížení 5 s.

Při penetraci nad 330 x 0,1 mm je zkušební teplota snížena na 15°C, ale zkušební podmínky jako aplikované zatížení a doba trvání se nemění.

Výsledek této zkoušky je hodnota penetrace v 0,1 mm. [4]

#### **Postup:**

##### **1. Příprava držáku jehly a penetračních jehel**

Držák jehly a jeho vodící zařízení se prohlédne a zkontroluje. Zjistí se, zda se držák jehly pohybuje volně ve vodícím zařízení. Penetrační jehla se očistí toluenem nebo jiným vhodným rozpouštědlem, osuší čistým hadříkem a vloží do držáku. Pokud není specifikováno jinak, přidá se 50 g závaží a zjistí se, zda je celkové aplikované zatížení 100,00 g ± 0,10 g. (pozn. Asfalty z určitých zdrojů mohou dávat nepravidelné výsledky. V takových případech se penetrační jehly před osušením ošetří ponořením do 1% roztoku kyseliny olejové v toluenu na dobu 5 minut.) [4]



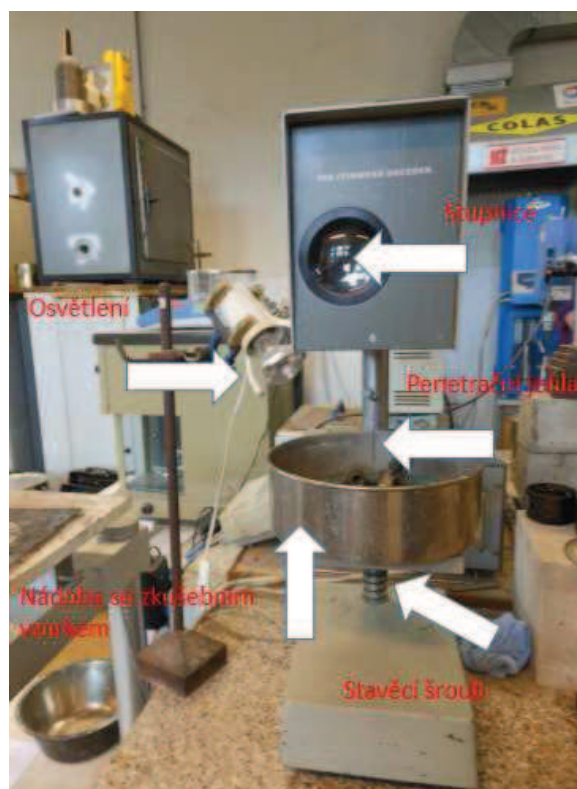
## 2. Zkoušky v lázni s říznou konstantní teplotou

Pokud se zkoušky provádí přímo v lázni, umístí se nádoba s analytickým vzorkem přímo na ponořenou poličku penetrometru. Nádoba s analytickým vzorkem se udržuje zcela pokryta vodou. [4]

## 3. Stanovení penetrace

Jedna z nádob s analytickým vzorkem se umístí do své pozice a pomalu se snižuje jehla, až se její hrot právě dotkne svého obrazu odraženého povrchem vzorku. Zkontroluje se a zaznamená nulová pozice jehly, pak se rychle uvolní držák jehly na specifikovanou dobu. Přístroj se nastaví tak, jak je třeba pro stanovení penetrace v desetínách milimetru. (pozn. Polohu jehly lze usnadnit vhodným osvětlením.)

Provedou se nejméně tři platná stanovení pomocí tří různých jehel na místech povrchu analytického vzorku, které jsou vzdálené nejméně 10 mm od strany nádoby a nejméně 10 mm od sebe. Pro každé stanovení se použije čistá jehla. Pokud je penetrace větší než 100x 0,1mm ponechají se všechny jehly v analytickém vzorku, dokud nejsou hotová všechna stanovení. Jestliže se provádějí zkoušky mimo vodní lázeň a 3 stanovení nejsou provedena během 2 minut, vrátí se analytický vzorek a přenášecí miska do vodní lázně a stanovení se opakuje. [4]



Obrázek 8: Penetrometr



Obrázek 9: Odlité vzorky v přemísťovací misce

### Výpočet a vyjádření výsledků:

Hodnoty penetrace se vyjadřují aritmetickým průměrem hodnot v desetinách milimetru zaokrouhlený na nejbližší celé číslo. [4]

### Výsledky:

Tabulka 9: Výsledky penetrací zkušebních vzorků asfaltových poživ

Silniční asfalt Total 50/70			
Číslo vpichu	Hloubka vpichu [mm]	Průměr [mm]	Penetrace na 0,1 [mm]
1	5,5	5,54	55,0
2	5,6		
3	5,5		
4	5,5		
5	5,6		
Silniční asfalt PMB 45/80-65			
Číslo vpichu	Hloubka vpichu [mm]	Průměr [mm]	Penetrace na 0,1 [mm]
1	5,8	5,78	58,0
2	5,8		
3	5,7		
4	5,8		
5	5,8		



## **Závěr:**

*Tabulka 10: Maximální rozdíl platných stanovení [4]*

Penetrace v 0,1 mm	do 49	50 až 149	150 až 249	250 a výše
Maximální rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším stanovením	2	4	6	8

Zkoušky stanovení penetrace vyšly pro Total 50/70 55,0 mm a pro PMB 45/80-65 58,0 mm, tudíž jsou v daných mezích, které udává norma ČSN EN 1426 a dále se neliší od hodnot deklarovaných výrobcem.

### **4.2.2 Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička**

#### **Podstata metody:**

Dva kotoučky z asfaltového pojiva, odlité v mosazných kroužcích s osazením, se zahřívají řízenou rychlostí v kapalinové lázni, přičemž na každém z nich je umístěna ocelová kulička. Bod měknutí se zaznamená jako průměr teplot, při kterých tyto dva kotoučky změknou natolik, aby umožnily každé z kuliček, obalených v asfaltovém pojivu, propadnout o vzdálenost  $25,0 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$ . [5]

#### **Postup:**

Zvolí se kapalina lázně a teploměr příslušný pro předpokládaný bod měknutí následujícím způsobem.

Body měknutí mezi  $28^\circ\text{C}$  a do  $80^\circ\text{C}$ , použije se čerstvě převařená destilovaná voda nebo deionizovaná voda, teploměr s dělením po  $0,2^\circ\text{C}$ . Počáteční teplota lázně musí být  $5^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ . U asfaltových poživ do bodu měknutí  $80^\circ\text{C}$  včetně se stanovují ve vodní lázni. Nad tuto teplotu a do  $150^\circ\text{C}$  se používá glycerinová lázeň.

Sestaví se přístroj s kroužky naplněnými vzorky, středícím zařízením pro kuličky a zasazeným teploměrem a lázeň se naplní tak, aby povrch lázně byl  $50\text{mm} \pm 3\text{mm}$  nad horním okrajem kroužků. Pomocí chemických kleští se umístí dvě kovové kuličky do lázně nebo zvláštní nádoby při teplotě  $5^\circ\text{C}$  nebo  $30^\circ\text{C}$  podle požadavků. Zajistí se, aby kuličky měly stejnou počáteční teplotu jako zbývající části sestavy. Dbá se, aby se kapalina v lázni neznečišťovala látkami, které by mohly ovlivnit zkoušku.

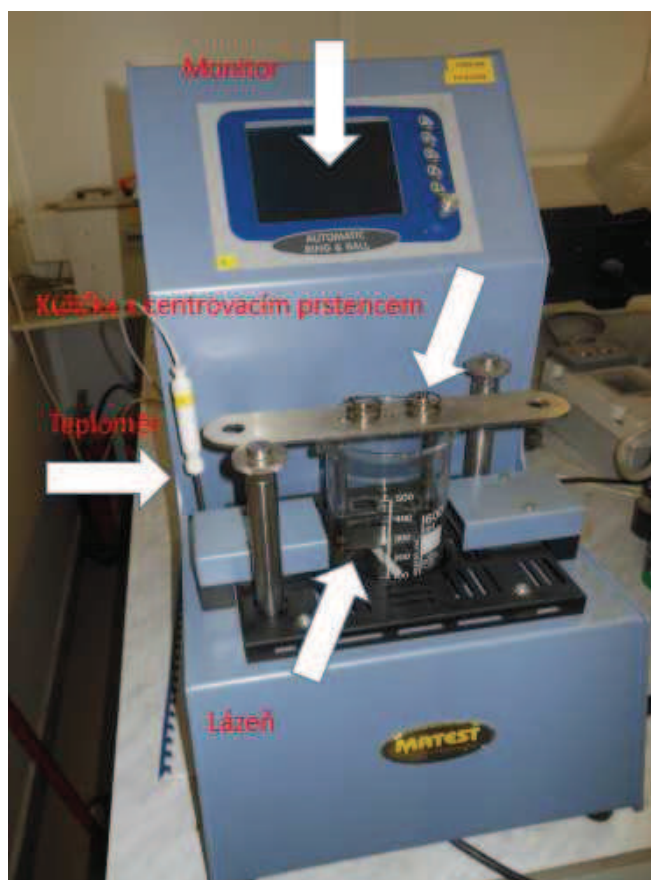
Kádinka s lázní a sestaveným přístrojem se umístí do ledové vody nebo termostátové lázně, aby zchladla na teplotu  $5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  pro vodní lázeň ( $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  glycerinovou lázeň), aby se dosáhla a udržela správná počáteční teplota na dobu 15 minut.

Pomocí chemických kleští se každá kulička umístí do svého středícího zařízení.

Kapalina v lázni se míchá a zespolu zahřívá tak, aby teplota stoupala rovnoměrnou rychlostí  $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Po prvních 3 minutách zahřívání musí být růst mezi  $4,4^{\circ}\text{C}$  a  $5,6^{\circ}\text{C}$  v každé měřené minutě. Po prvních 3 minutách zahřívání musí být celkový vzrůst teploty na konci zkoušky do  $1^{\circ}\text{C}$  od počtu minut  $\times 5^{\circ}\text{C}$ . Každá zkouška, která vybočuje z teplotního růstu, se zamítne.

U každého kroužku a kuličky se zaznamená teplota udávaná teploměrem v okamžiku, kdy se asfalt obklopující kuličku dotkne při propadu u použití poloautomatického nebo automatického přístroje paprsku světla. U manuálního metody základní desky.

Zkouška se opakuje, pokud je rozdíl mezi dvěma teplotami větší než  $1^{\circ}\text{C}$  pro bod měknutí pod  $80^{\circ}\text{C}$  nebo větší než  $2^{\circ}\text{C}$  pro bod měknutí nad  $80^{\circ}\text{C}$ . U modifikovaných asfaltů je povolený rozdíl  $2^{\circ}\text{C}$  nebo když kulička poruší asfaltovou vrstvu. [5]



Obrázek 10: Automatické zařízení na stanovení bodu měknutí



Obrázek 11: Odlité vzorky (neseříznuté) v kroužkách

### Výpočet a vyjádření výsledků:

#### Výpočet:

Pro bod měknutí nižší nebo rovný 80 °C se bod měknutí vyjádří jako průměr teplot zaznamenaných a zaokrouhlených na nejbližší 0,2 °C. [5]

#### Výsledky:

Tabulka 11: Výsledky zkoušky – stanovení bodu měknutí, metoda kroužek a kulička

<b>Silniční asfalt Total 50/70</b>			
Vzorek	Poloha kuličky	Naměřená teplota [°C]	Průměrná teplota [°C]
1.	levá	46,8	<b>46,9</b>
	pravá	47,0	
2.	levá	47,6	<b>47,5</b>
	pravá	47,4	

<b>Silniční asfalt PMB 45/80-65</b>			
Vzorek	Poloha kuličky	Naměřená teplota [°C]	Průměrná teplota [°C]
1.	levá	74,3	<b>74,1</b>
	pravá	73,8	
2.	levá	73,3	<b>73,6</b>
	pravá	73,9	

#### Závěr:

Hodnoty této zkoušky splňují požadavky dle normy ČSN EN 1427.

## 4.3 Asfaltové směsi

### 4.3.1 Návrh asfaltových směsí

Při návrhu naší asfaltové směsi jsme nejprve navrhli čáru zrnitosti, kde výsledná čára musí ležet mezi horní a dolní mezí oboru zrnitosti kameniva daných normou. Dále byl dle zkušeností navržen obsah pojiva ve směsi a ověřen výpočtem.

### 4.3.2 Obory zrnitosti kameniva

Pro asfaltovou směs ACO 11+ byl převzat obor zrnitosti z normy ČSN EN 13108 -1 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton. [6]

Tabulka 12: Obory zrnitosti kameniva ACO 11+ [6]

Zrnitost/síto (mm)	Požadavky dle ČSN EN 13108-1 (%)	Nové požadavky na směs (%)
16	100	<b>100</b>
11,2	90-100	<b>90-100</b>
8	70-90	<b>70-85</b>
4	42-68	<b>48-70</b>
2	24-49	<b>33-40</b>
0,125	4-14	-
0,063	3-11	<b>5-9</b>

### 4.3.3 Navržená čára zrnitosti ACO 11+

Tabulka 13: Navržená čára zrnitosti ACO 11+

ACO 11+											
Frakce	Velikost ok sít										Navržené dávkování v %
	16	11	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	
8-11	100	84	17	2	2	2	2	2	1	1	25
4-8	100	100	94	9	2	1	1	1	1	1	25
0-4	100	100	100	96	71	47	31	18	7	3	43
Filer	100	100	100	100	100	100	100	100	93	73	7
Celkem:	100	96	78	51	39	28	21	15	10	6,9	100

#### 4.3.4 Návrh množství pojiva – Teoretické množství pojiva

❖ Výpočet podle součinitele sytosti

$$\varepsilon = 0,01x(0,174G + 0,40g + 2,30S + 15,33s + 140f),$$

kde:

- $\varepsilon$  měrný povrch v  $\text{m}^2/\text{kg}$ ;
- $G$  podíl kameniva v % hmotnosti, které zadrží síto 8;
- $g$  podíl kameniva v % hmotnosti, které propadne sítem 8 a zadrží síto 4;
- $S$  podíl kameniva v % hmotnosti, které propadne sítem 4 a zadrží síto 0,25;
- $s$  podíl kameniva v % hmotnosti, které propadne sítem 0,25 a zadrží síto 0,063;
- $f$  podíl kameniva v % hmotnosti, které propadne sítem 0,063. [11]

❖ Teoretické množství pojiva

$$p = n \cdot \sqrt[5]{\varepsilon} \cdot \frac{2,650}{\rho_a},$$

kde:

- $p$  množství asfaltu v kg na 100 kg kameniva
- $n$  je 3,4
- $\rho_a$  objemová hmotnost zrn kameniva v  $\text{MG}/\text{m}^3$ . [11]

#### 4.3.5 Výpočet pro ACO 11+

❖ Výpočet podle součinitele sytosti

$$G = 100 - 77 = 23\%$$

$$g = 77 - 49 = 28\%$$

$$S = 49 - 14 = 35\%$$

$$s = 14 - 6,2 = 7,8\%$$

$$f = 6,2\%$$

$$\varepsilon = 0,01 \cdot (0,174 \cdot 23 + 0,40 \cdot 28 + 2,30 \cdot 35 + 15,33 \cdot 7,8 + 140 \cdot 6,2)$$

$$\varepsilon = 10,8 \text{ m}^2/\text{kg}$$

❖ Teoretické množství pojiva

$$p = 3,4 \cdot \sqrt[5]{10,8328} \cdot \frac{2,650}{2,660}$$

$$p = 5,46 \text{ kg/100 kg kameniva}$$

**Závěr:**

*Tabulka 14: Navržené optimální množství pojiva pro směs ACO 11+*

<b>Součinitel sytosti</b>	<b>10,8 m<sup>2</sup>/kg</b>
<b>Teoretické množství pojiva</b>	<b>5,46 kg/100 kg kameniva</b>
<b>NAVRŽENO</b>	<b>6,1%</b>

Na základě použitého kameniva ve výpočtu a v první řadě zkušenosti bylo navrženo optimální množství pojiva pro směs ACO 11+ rovno 6,1% asfaltového pojiva.

#### 4.3.6 Výroba zkušebních vzorků - Marshallových těles

- ČSN EN 12697 – 34+A1 – Marshallova zkouška [13]
- ČSN EN 12697–30+A1 – Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem [12]

**Postup:**

- ❖ Výroba Marshallova tělesa začíná tím, že se vysuší dané frakce kameniva a po jejich zchlazení se naváží přesné množství všech frakcí.
- ❖ Poté se dají znova nahřát i asfaltovým pojivem a částí Marshallova pěchu, kde je teplota průběžně kontrolována a po dosažení požadované teploty míchání, ta je 160 °C pro asfaltové pojivo Total 50/70 a 165 °C pro PMB 45/80-65, se smíchá kamenivo s asfaltovým pojivem.
- ❖ Následně se vše důkladně strojně promíchá v míchačce.
- ❖ Následuje tzv. homogenizace směsi, kde se směs ručně promíchá a přesně naváží a dá se opět nahřát do pece na teplotu hutnění 150 °C pro asfaltové pojivo Total 50/70 a 155 °C pro PMB 45/80-65.
- ❖ Dále se směs vloží do hutnící formy a hutní se 2 x 50 úderů.



- ❖ Po zchladnutí se vytlačí z formy a popíše se.



Obrázek 12: Míchací zařízení



Obrázek 13: Chlazení vzorku proudem vzduchu



*Obrázek 14: Vytlačování vzorku*



*Obrázek 15: Hotový vzorek*

## 4.4 Zkoušky asfaltových směsí

Zde jsou vypsané normy, které byly použity na zkoušení asfaltové směsi za horka. Normy jsou dále podrobněji rozepsány v následujících kapitolách.

- ❖ ČSN EN 12697-5+A1 Asfaltové směsi – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti
- ❖ ČSN EN 12697-6+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa
- ❖ ČSN EN 12697-8 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí



#### 4.4.1 Stanovení maximální objemové hmotnosti

##### Podstata zkoušky:

Maximální objemová hmotnost se společně s objemovou hmotností používá k výpočtu obsahu mezer ve zhutněném vzorku a dalších vlastností zhutněné asfaltové směsi, které se vztahují k jejímu objemu.

U volumetrického a hydrostatického postupu se maximální objemová hmotnost asfaltových směsí stanoví z objemu vzorku bez mezer a jeho suché hmotnosti.

U volumetrického postupu se objem vzorku měří jako objem vody nebo rozpouštědla vytěsněného vzorkem v pyknometru.

Při hydrostatickém postupu se objem vzorku vypočítá za suché hmotnosti vzorku a z jeho hmotnosti ve vodě.

Při matematickém postupu se maximální objemová hmotnost asfaltové směsi vypočítá z jejího složení (obsah pojiva a obsah kameniva) a objemových hmotností složek. [7]

##### Postup zkoušky:

Veškeré hmotnosti musí být stanoveny v g s přesností 0,1 g. Objem pyknometru musí být stanoven v metrech kubických s přesností  $0,5 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ . [7]

##### Volumetrický postup:

Stanoví se hmotnost ( $m_1$ ) prázdného pyknometru s nástavcem o známém objemu ( $V_p$ ).

Vysušený zkušební vzorek se umístí do pyknometru a temperuje se na okolní teplotu. Poté se znovu stanoví jeho hmotnost s nástavcem ( $m_2$ ).

Pyknometr se naplní odvzdušněnou vodou nebo rozpouštědlem maximálně do výšky 30 mm pod okraj.

Zachycený vzduch se odstraní použitím částečného vakua, které bude mít zbytkový tlak 4 kPa nebo méně, po dobu  $(15 \pm 1)$  min.

Nástavec pyknometru nebo zátku se nasadí po opatrném naplnění pyknometru odvzdušněnou vodou až téměř po referenční značku nástavce nebo zátky tak, aby nedošlo k vniknutí vzduchu.

Pokud se použije voda, pyknometr se umístí do vodní lázně s rovnoměrnou zkušební teplotou ( $\pm 1,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) na dobu nejméně 30 minut, ne však déle než na 180 minut, aby se dosáhlo vyrovnání teploty vzorku a vody v pyknometru s teplotou vody ve vodní lázni.

Pyknometr se doplní vodou nebo rozpouštědlem po značku na nástavci. Voda nebo

rozpouštědlo v nádobě pro doplnění pyknometru musí mít stejnou zkušební teplotu jako je zkušební teplota vodní lázně.

Voda ve vodní lázni musí dosahovat přibližně do výšky 20 mm pod okraj pyknometru.

Pyknometr se vyjme z vodní lázně, z vnější strany se osuší a ihned se stanoví jeho hmotnost ( $m_3$ ). [7]

### Výpočet a vyjádření výsledků:

Veškeré hmotnosti musí být stanoveny v g s přesností 0,1 g. Objem pyknometru musí být stanoven v metrech kubických s přesností  $0,5 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ . Veškerá procenta musí být vyjádřena s přesností 0,1 %. [7]

### Volumetrický postup:

Maximální objemová hmotnost  $\rho_{mv}$  asfaltové směsi stanovená volumetrickým postupem se vypočítá s přesností  $0,001 \text{ Mg/m}^3$  podle rovnice:

$$\rho_{mv} = \frac{m_2 - m_1}{10^6 \times V_p - \left( \frac{m_3 - m_2}{\rho_w} \right)},$$

kde:  $\rho_{mv}$  maximální objemová hmotnost asfaltové směsi v  $\text{kg/m}^3$  stanovené volumetrickým postupem s přesností  $0,001 \text{ Mg/m}^3$ ,

$m_1$  hmotnost pyknometru, nástavce a pružiny, v g,

$m_2$  hmotnost pyknometru, nástavce, pružiny a zkušební vzorku, v g,

$m_3$  hmotnost pyknometru, nástavce, pružiny, zkušební vzorku a vody nebo rozpouštědla, v g,

$V_p$  objem pyknometru při naplnění po referenční značce nástavce, v  $\text{m}^3$ ,

$\rho_w$  hustota vody nebo rozpouštědla při zkušební teplotě v  $\text{kg/m}^3$  s přesností  $0,001 \text{ Mg/m}^3$ . [7]

## Výsledky:

Tabulka 15: Výsledky objemové hmotnosti - voda

Voda					
$m_1$ [g]	$m_2$ [g]	$m_3$ [g]	$V_p$ [mm <sup>3</sup> ]	$\rho_w$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_{mv}$ [kg/m <sup>3</sup> ]
693,7	1831,6	2682,1	1323,0	998,3	<b>2422,0</b>

## Závěr:

Volumetrickým postupem výpočtu byla stanovena maximální objemová hmotnost asfaltové směsi na 2422,0 kg/m<sup>3</sup>

### 4.4.2 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa

#### Podstata zkoušky:

Objemová hmotnost zhutněného asfaltového zkušební tělesa se stanoví z hmotnosti zkušební tělesa a jeho objemu. Hmotnost zkušební tělesa se získá vážením suchého vzorku na vzduchu.

Jsou čtyři druhy postupů dle normy stanovení objemové hmotnosti

- ❖ Objemová hmotnost – suchá (A)
- ❖ Objemová hmotnost – nasycený suchý povrch (SSD)
- ❖ Objemová hmotnost – utěsněné zkušební těleso (C)
- ❖ Objemová hmotnost – podle rozměrů (D)

U suchého postupu se hmotnost ve vodě stanoví bez úpravy tělesa.

U tří prvních postupů se objem zkušební tělesa získá na základě jeho hmotnosti na vzduchu a ve vodě.

Při postupu SSD se zkušební těleso nejdříve nasytí vodou a poté se jeho povrch osuší vlhkou jelenicí. [8]

#### Postup zkoušky:

Veškeré hmotnosti musí být uváděny v gramech s přesností na 0,1 g. Veškerá měření musí být stanovena v milimetrech s přesností na 0,1 mm. [8]

### Objemová hmotnost – nasycený suchý povrch (SSD)

- Stanoví se hmotnost suchého zkušební tělesa ( $m_1$ ).
- Stanoví se hustota vody při zkušební teplotě s přesností na  $0,1 \text{ kg/m}^3$  ( $\rho_w$ ).
- Zkušební těleso se ponoří do vodní lázně temperované na známé zkušební teplotě. Těleso se ponechá dostatečně dlouho sytit vodou tak, aby se jeho hmotnost po nasycení ustálila na konstantní hodnotě (pozn. Obecně se za dobu požadovanou k nasycení považuje nejméně 30 minut.)
- Stanoví se hmotnost ponořeného, nasyceného zkušební tělesa ( $m_2$ ), přičemž se dbá, aby na povrchu tělesa neulpívaly žádné vzduchové bubliny nebo z něj nevycházely při vážení.
- Těleso se vyjme z vody, povrchově osuší (z povrchu se odstraní kapky vody) otřením vlhkou jelenicí.
- Pokud voda i nadále odtéká ze vzorku, měření podle (SSD) se přeruší a pokračuje se měření podle postupu (C)
- Hmotnost tělesa nasyceného vodou ( $m_3$ ) se stanoví okamžitě po povrchovém osušení na vzduchu. [8]

### Výpočet a vyjádření výsledků:

#### Výpočet:

### Objemová hmotnost – nasycený suchý povrch (SSD)

Objemová hmotnost SSD zkušební tělesa ( $\rho_{bssd}$ ) se vypočítá s přesností na  $1 \text{ kg/m}^3$  následovně: [8]

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \times \rho_w,$$

kde	$\rho_{bssd}$	objemová hmotnost SSD, v $\text{kg/m}^3$ ;
	$m_1$	hmotnost suchého tělesa, v g;
	$m_2$	hmotnost tělesa ve vodě, v g;
	$m_3$	hmotnost tělesa nasyceného vodou povrchově osušeného, v g;
	$\rho_w$	hustota vody při zkušební teplotě stanovené s přesností na $0,1 \text{ kg/m}^3$ . [8]

### Výsledky:

Tabulka 16: Výsledek objemové hmotnosti zkušebních těles ACO 11+

Směs ACO 11 + (obsah asfaltového pojiva 6,1%)				
Číslo vzorku	m <sub>1</sub> [g]	m <sub>2</sub> [g]	m <sub>3</sub> [g]	ρ <sub>bssd</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]
1	1211,1	699,2	1211,8	2358,6
2	1209,9	699,9	1210,3	2366,5
3	1211,9	700,2	1212,5	2361,6
Průměr ρ <sub>bssd</sub> = 2362,2 kg/m <sup>3</sup>				

### Závěr:

Výsledky z naměřených a spočítaných hodnot činí 2362,2 kg/m<sup>3</sup>

## 4.4.3 Stanovení mezerovitostí asfaltových směsí

### Podstata zkoušky:

Mezerovitost asfaltového tělesa se vypočítá pomocí maximální objemové hmotnosti směsi a objemové hmotnosti zkušební tělesa. [9]

### Výpočet a vyjádření výsledků:

#### Výpočet:

$$V_m = \left( \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \right) \times 100 \text{ [%]},$$

kde  $V_m$  mezerovitost směsi s přesností 0,1 % (vliv),  
 $\rho_m$  maximální objemová hmotnost asfaltové směsi v kg,  
 $\rho_b$  objemová hmotnost tělesa v kg/m<sup>3</sup>. [9]

### Výsledky:

Tabulka 17: Výsledek mezerovitosti asfaltové směsi ACO 11+

ρ <sub>b</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	ρ <sub>m</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Mezerovitost [%]
2362,2	2422,0	2,5

**Závěr:**

Námi naměřená hodnota činí 2,5% vyhovuje pro ACO 11+, kde jsou meze 2,5–3,5%.

## **5 Odolnost asfaltových směsí proti účinkům vody**

**Podstata zkoušky:**

Sada zkušebních těles ve tvaru válce se rozdělí do dvou skupin o stejné velikosti a je temperována. Jedna skupina je udržována na vzduchu při laboratorní teplotě, mezi tím druhá skupina je nasycena a uložena do vodní lázně se zvýšenou teplotou.

Po temperování se stanoví pevnost v příčném tahu každé ze dvou skupin podle normy EN 12697-23 při předepsané zkušební teplotě. Vypočítá se poměry pevnosti v příčném tahu stanovené u skupin zkušebních těles temperovaných ve vodní lázni k pevnosti v příčném tahu stanovené u skupiny těles udržovaných na vzduchu a vyjádří se v procentech. [10]

**Zkušební zařízení a pomůcky:**

- a) zkušební lis
- b) tlačná čelist
- c) teplotně regulovatelná vodní lázeň
- d) vakuový systém + vakuová komora
- e) sušárna s teplotní regulací
- f) váha
- g) posuvné měřítko [10]

**Příprava zkušebních těles:**

Pro každou skupinu zkušebních těles se musí připravit nejméně šest zkušebních těles ve tvaru válce.

Tělesa musí být na pohled symetrická a musí mít hladkou kruhovou oblou stěnu.

Zkušební tělesa musí mít průměr  $(100 \pm 3)$  mm, pro která je stanovena maximální jmenovitá velikost kameniva 22 mm. [10]

### **Zkušební tělesa:**

Postup výroby zkušebního tělesa (vzhledem k požadavku na jeho rozměry) je stejný jako pro zkoušku Stanovení objemové hmotnosti asphaltového zkušebního tělesa a je výše popsán v kapitole 4.3.5 Výroba zkušebních vzorků – Marshallovy tělesa.

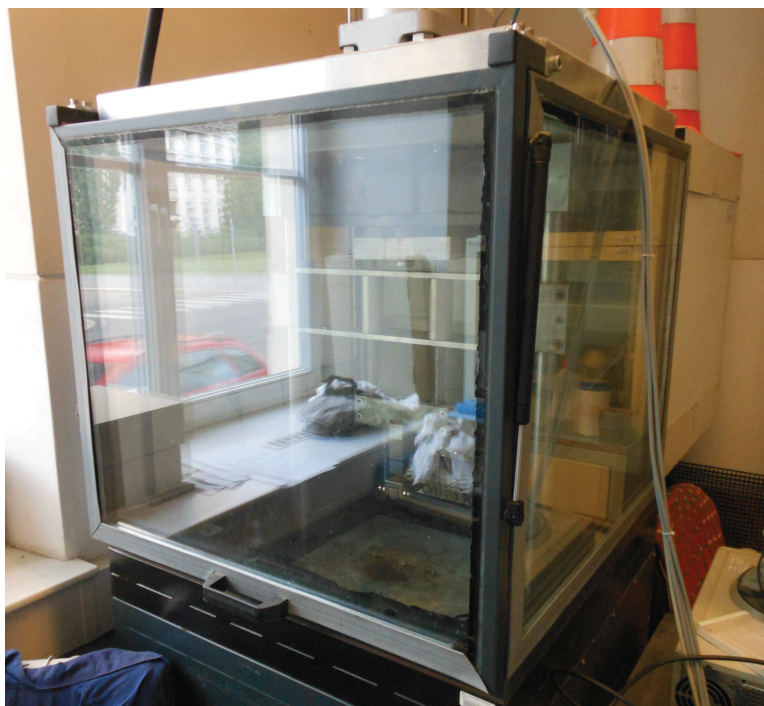


*Obrázek 16: Připravené vzorky na zkoušku pevnosti v příčném tahu*



*Obrázek 17: Zkušební lis*





*Obrázek 18: Termostaticky regulovaná sušárna*

## 5.1 Postup vyhotovení vzorků

Tělesa se rozdělí do dvou skupin, která mají průměrně stejnou výšku a objemovou hmotnost. Rozdíl výšky nesmí být větší než 5 mm a rozdíl objemových hmotností větší než  $15 \text{ kg/m}^3$ . Dále musí mít stejné stáří. [10]

### 5.1.1 Temperování

- ❖ Skupina suchých zkušebních těles se uloží na rovný povrch při laboratorní teplotě  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .
- ❖ Skupina mokrých těles se uloží na perforovanou vložku ve vakuové komoře a naplní se destilovanou vodou o teplotě  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$  minimálně 20 mm nad horní povrch tělesa. V komoře se během  $(10 \pm 1 \text{ min})$  vytvoří zbytkový tlak  $(6,7 \pm 0,3) \text{ kPa}$ . Tlak se snižuje postupně, aby nedošlo k poškození tělesa rozpínacím se vzduchem. Tento tlak se udržuje  $(30 \pm 5 \text{ min})$ . Po dalších 30 minutách se změří objem. Ta tělesa, která zvýšila svůj objem o více jak 2 %, se vyloučí. Dále se tělesa umístí do vodní lázně o teplotě  $(40 \pm 1) ^\circ\text{C}$  na dobu 68 až 72 hodin. [10]



## 5.2. Postup zkoušky

Zkušební tělesa se zahřejí na teplotu v rozmezí 5 až 22 °C. Doporučená je  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Po vyjmutí z termostaticky regulované sušárny se musí do 1 minuty provést zkouška pevnosti v příčném tahu.

- ❖ Skupina suchých těles se umístí do termostaticky regulované sušárny.
- ❖ Skupina mokrých těles se uloží do vodní lázně po dobu 2 hodin a před samotným měřením se musí usušit. [10]

## 5.3 Stanovení pevnosti v příčném tahu

Vypočítá se poměr pevnosti v příčném prahu (ITSR) podle vzorce:

$$\text{ITS} = 2P/(\pi \cdot D \cdot H),$$

kde	ITS	pevnost v příčném tahu v %,
	P	maximální síla s přesností 0,001 v kN,
	D	průměr zkušebního tělesa s přesností 0,1 mm,
	H	výška zkušebního tělesa s přesností 0,1 mm. [10]

Výpočtem se stanoví:

ITS <sub>d</sub>	průměrná pevnost v příčném tahu <u>mokrých</u> těles s přesností 0,001 kPa,
ITS <sub>w</sub>	průměrná pevnost v příčném tahu <u>suchých</u> těles s přesností 0,001 kPa. [10]

Celkový poměr se vypočte:

$$\text{ITSR} = (\text{ITS}_d / \text{ITS}_w) \cdot 100,$$

kde	ITS	je pevnost v příčném tahu v %.
-----	-----	--------------------------------

### 5.3.1 Výsledky zkoušky

#### ❖ Výpočet objemů těles

Tabulka 18: Objem vzorků při odolnosti proti vodě - pojivo Total 50/70

Total 50/70								
Serie	Teplota hutnění	Číslo vzorku	Průměr d (mm)	Výška h (mm)	Hmotnost $m_1$ (g)	Objem V (cm <sup>3</sup> )	$\varsigma_{b,dim}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\phi\varsigma_{b,dim}$ (kg/m <sup>3</sup> )
Suchá	150	1	102,1	62,2	1140,4	509,3	2239,2	2250,3
	150	2	101,5	62,4	1144,4	504,9	2266,8	
	150	3	101,5	62,8	1140,7	507,1	2245	
Mokrā	150	4	102	62,4	1146,1	509,9	2247,7	2248,9
	150	6	101,9	62,5	1148,4	509,7	2253,1	
	150	7	101,7	62,7	1143,9	509,3	2246	

Tabulka 19: Objem vzorků při odolnosti proti vodě - pojivo PMB 45/80-65

PMB 45/80-65								
Serie	Teplota hutnění	Číslo vzorku	Průměr d (mm)	Výška h (mm)	Hmotnost $m_1$ (g)	Objem V (cm <sup>3</sup> )	$\varsigma_{b,dim}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\phi\varsigma_{b,dim}$ (kg/m <sup>3</sup> )
Suchá	150	8	102	64,6	1145,4	527,9	2169,7	2142,3
	150	2	101,6	65,1	1138,5	527,8	2157,1	
	150	5	102,1	65,3	1148,2	534,6	2147,8	
Mokrā	150	1	102	64,2	1141,9	524,6	2176,7	2154,9
	150	3	101,9	65,3	1146,7	532,5	2153,4	
	150	4	101,8	65,3	1145	531,5	2154,3	

#### ❖ Hodnoty ze zkušebního lisu

Tabulka 20: Hodnoty ze zkušebního lisu – pojivo 50/70 Total

50/70 Total	číslo	síla (kn)	zatlačení (mm)
suchý	1	22,23	1,74
	2	22,56	1,92
	3	22,25	2,16
mokrý	4	20,09	1,64
	6	20,25	1,28
	7	21,27	1,8

Tabulka 21: Hodnoty ze zkušebního lisu – pojivo PMB 45/80-65

PMB45/80-65	číslo	síla (kn)	zatlačení (mm)
suchý	8	14,59	2,01
	2	14,29	2,53
	5	14,39	2,25
mokřý	1	14,27	2,31
	3	13,97	2,63
	4	13,77	2,63

### Závěr:

Ze zkoušek byla vyloučena tělesa, která se výrazně lišila svoji objemovou hmotností. Tato chyba byla předpokládána a proto bylo zkušebních těles vždy vyrobeno více.

### 5.3.2 ITSR

Tabulka 22: Výpočet ITSR s pojivem Total 50/70

Total 50/70								
Vzorky	Číslo vzorku	Síla (kN)	Přetvoření (mm)	Průměr d (mm)	Výška h (mm)	ITS (kPa)	ϕ ITS (kPa)	ITSR (%)
Suché	1	22,23	1,74	102,1	62,2	0,0022285	0,002239	91,65
	2	22,56	1,92	101,5	62,4	0,0022676		
	3	22,25	2,16	101,5	62,8	0,0022222		
Mokré	4	20,09	1,64	102	62,4	0,0020094	0,002052	
	6	20,25	1,28	101,9	62,5	0,0020242		
	7	21,27	1,8	101,7	62,7	0,0021235		

Tabulka 23: Výpočet ITSR s pojivem PMB 45/80-65

PMB 45/80 - 65								
Vzorky	Číslo vzorku	Síla (kN)	Přetvoření (mm)	Průměr d (mm)	Výška h (mm)	ITS (kPa)	φ ITS (kPa)	ITSR (%)
Suché	8	14,59	2,01	102	64,6	0,0014096	0,001386	97,20
	2	14,29	2,53	101,6	65,1	0,0013754		
	5	14,39	2,25	102,1	65,3	0,001374		
Mokré	1	14,27	2,31	102	64,2	0,0013873	0,001348	
	3	13,97	2,63	101,9	65,3	0,0013366		
	4	13,77	2,63	101,8	65,3	0,0013187		

## Závěr:

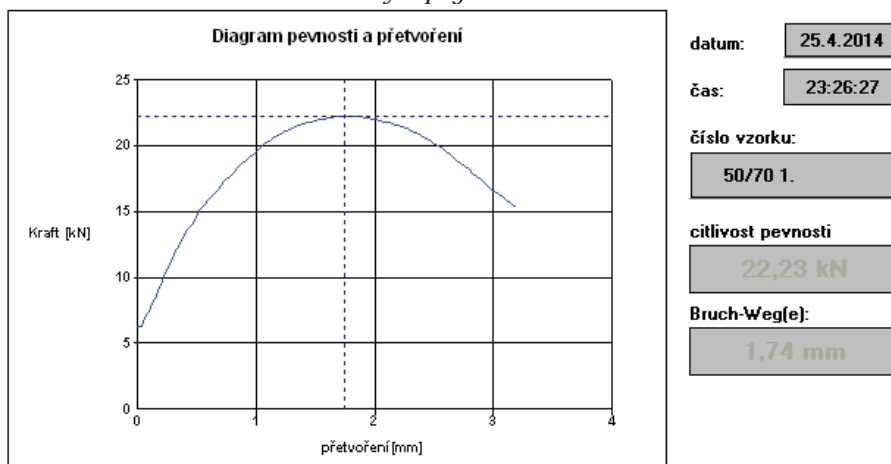
Tabulka 24: Celkové výsledky a porovnání ITSr

POJIVO	ITSr
Total 50/70	92%
PMB 45/80 - 65	98%

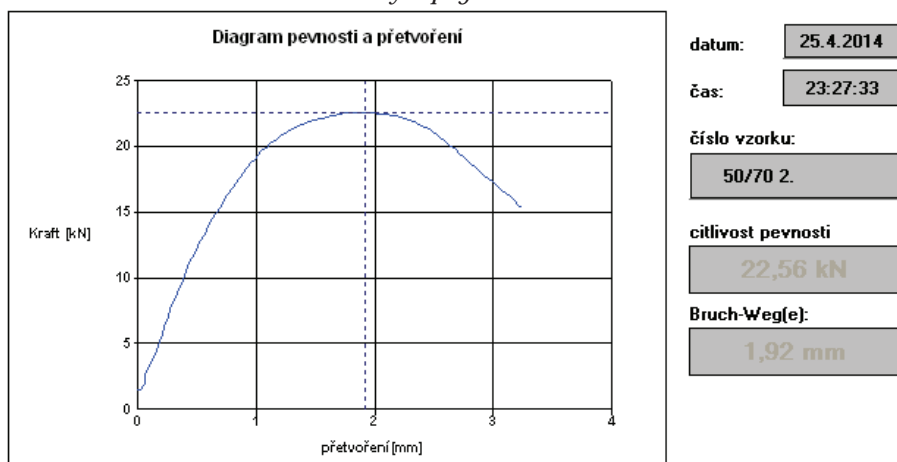
Je zřejmé z tabulky, že směs za použití silničních modifikovaných asfaltů (konkrétně PMB 45/80 – 65) je odolnější vůči účinkům vody. Kde minimální hodnoty ITSr jsou pro obě pojiva 70 %.

### 5.3.3 Výstupní hodnoty ze zkušebního lisu zkoušky ITSr

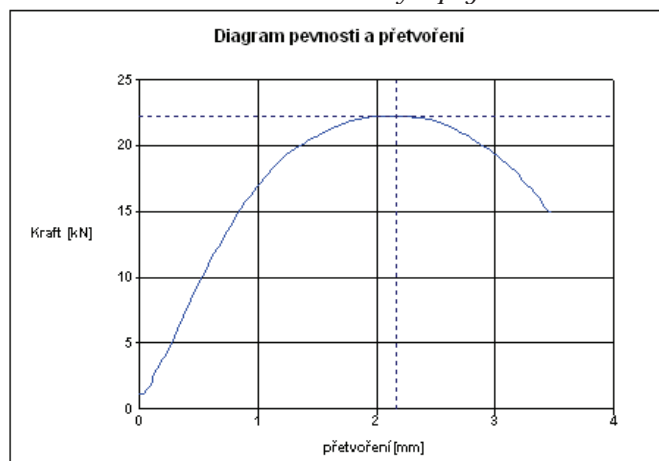
Graf 5: Suché vzorky - pojivo Total 50/70 – číslo vzorku 1



Graf 6: Suché vzorky - pojivo Total 50/70 – číslo vzorku 2



Graf 7: Suché vzorky - pojivo Total 50/70 – číslo vzorku 3



datum: 25.4.2014

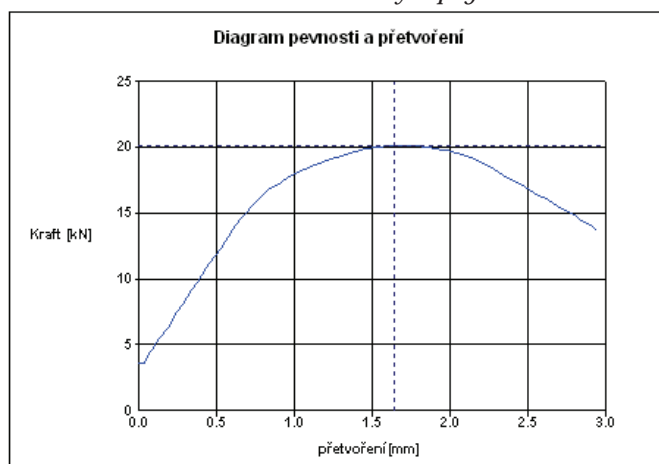
čas: 23:28:34

číslo vzorku:  
50/70 3.

citlivost pevnosti  
22,25 kN

Bruch-Weg(e):  
2,16 mm

Graf 8: Mokrý vzorky - pojivo Total 50/70 – číslo vzorku 4



datum: 25.4.2014

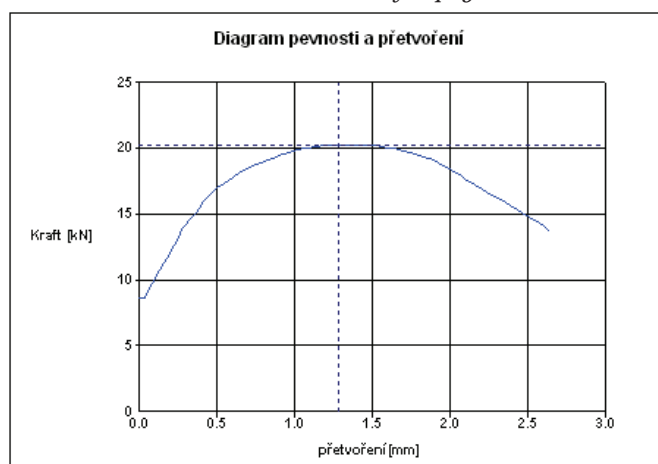
čas: 23:19:35

číslo vzorku:  
50/70 4.

citlivost pevnosti  
20,09 kN

Bruch-Weg(e):  
1,64 mm

Graf 9: Mokrý vzorky - pojivo Total 50/70 – číslo vzorku 6



datum: 25.4.2014

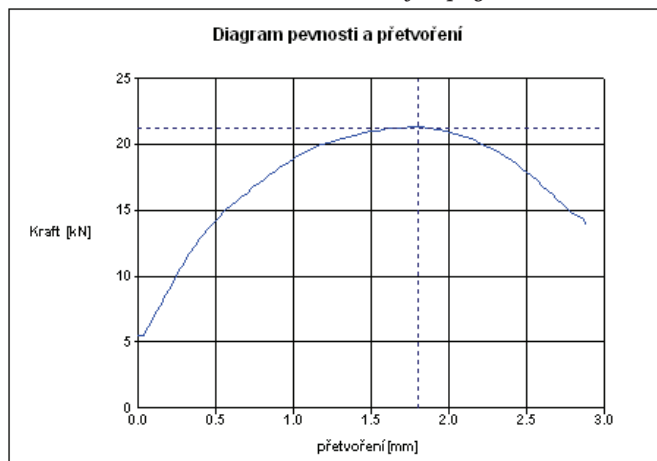
čas: 23:21:09

číslo vzorku:  
50/70 6.

citlivost pevnosti  
20,25 kN

Bruch-Weg(e):  
1,28 mm

Graf 10: Mokr  vzorky - pojivo Total 50/70 –  slo vzorku 7



datum: 25.4.2014

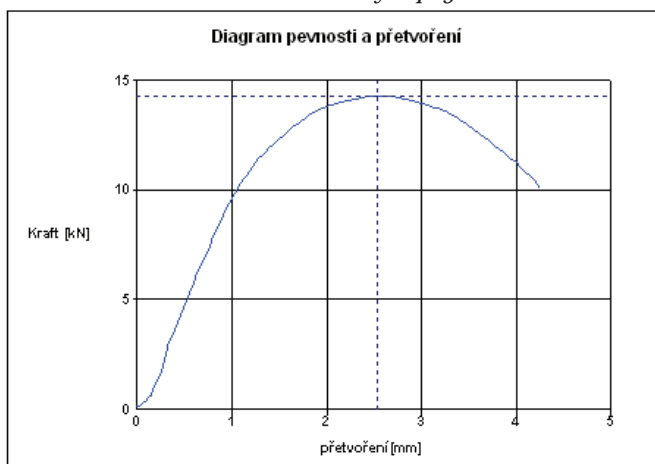
 as: 23:22:40

 slo vzorku:  
50/70 7.

citlivost pevnosti  
21,27 kN

Bruch-Weg(e):  
1,8 mm

Graf 11: Such  vzorky - pojivo PMB 45/80-65 –  slo vzorku 2



datum: 28.4.2014

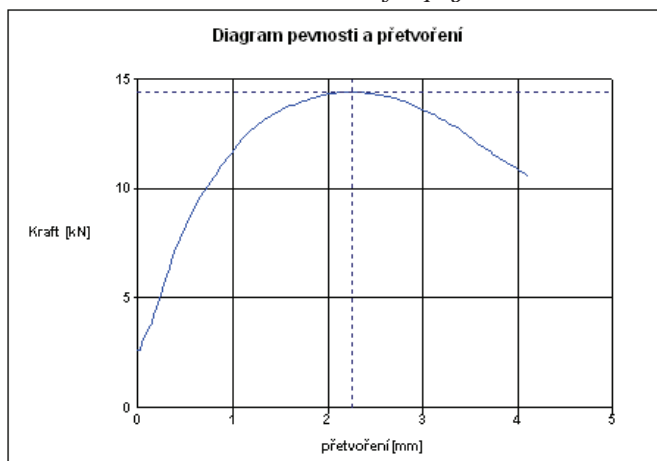
 as: 25:18:16

 slo vzorku:  
pmb2s

citlivost pevnosti  
14,29 kN

Bruch-Weg(e):  
2,53 mm

Graf 12: Such  vzorky - pojivo PMB 45/80-65 –  slo vzorku 5



datum: 28.4.2014

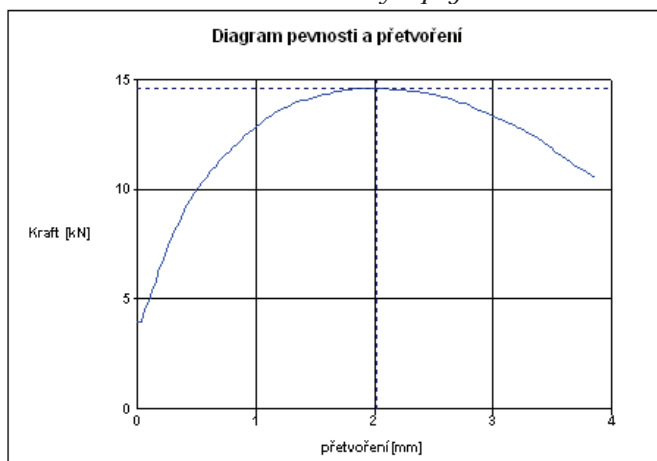
 as: 25:19:29

 slo vzorku:  
pmb5s

citlivost pevnosti  
14,39 kN

Bruch-Weg(e):  
2,25 mm

Graf 13: Suché vzorky - pojivo PMB 45/80-65 – číslo vzorku 8



datum: 28.4.2014

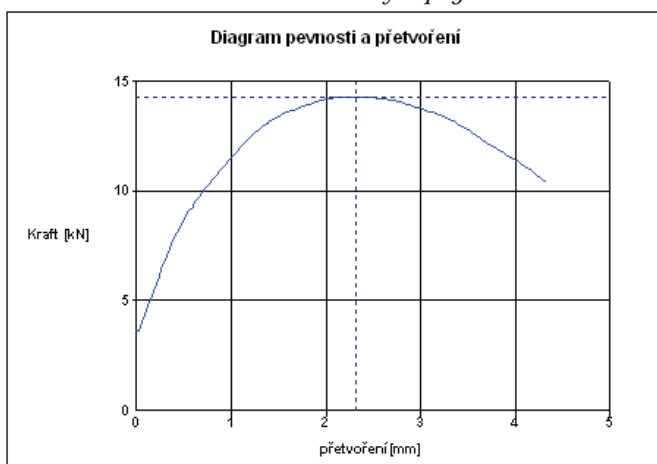
čas: 25:20:40

číslo vzorku:  
pmb8s

citlivost pevnosti  
14,59 kN

Bruch-Weg(e):  
2,01 mm

Graf 14: Mokrý vzorky - pojivo PMB 45/80-65 – číslo vzorku 1



datum: 28.4.2014

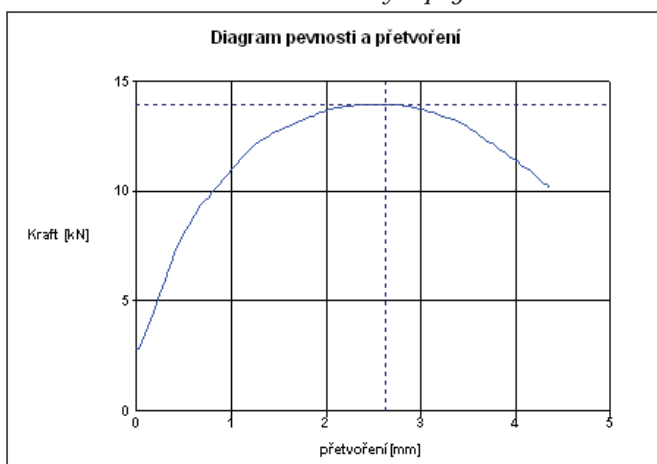
čas: 25:13:25

číslo vzorku:  
pmb1m

citlivost pevnosti  
14,27 kN

Bruch-Weg(e):  
2,31 mm

Graf 15: Mokrý vzorky - pojivo PMB 45/80-65 – číslo vzorku 3



datum: 28.4.2014

čas: 25:14:35

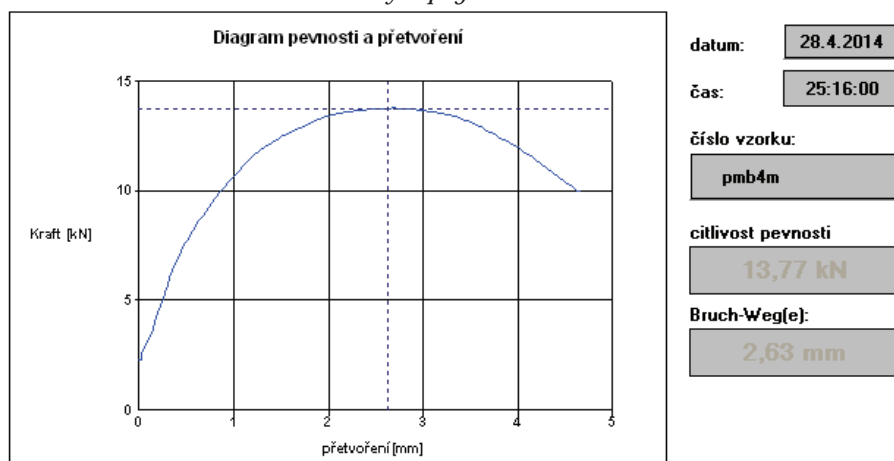
číslo vzorku:  
pmb3m

citlivost pevnosti  
13,97 kN

Bruch-Weg(e):  
2,63 mm



Graf 16: Mokrý vzorky - pojivo PMB 45/80-65 – číslo vzorku 4



## 5.4 Srovnání s jinými Akreditovanými laboratořemi

Tabulka 25: Porovnání ITSR – 1.část

Výsledky srovnávacích zkoušek pro asfaltové směsi ACO 11+, úprava ČSN EN 131108 - 1								
Společnosti:	SQZ		EUROVIA-CENTRALNÍ LABORATOŘ		EUROVIA HK		PORR	
Asfalt:	50/70	PMB 50/80-55	50/70	PMB 50/80-55	50/70	50/70	50/70	PMB 50/80-65
ITSR (%): min 70%	81,1	77,3	95	98	92	88	98,2	93

Minimální požadavek na pojivo 50/70 a PMB 45/80-min55

Tabulka 26: Porovnání ITSR – 2.část

Výsledky srovnávacích zkoušek pro asfaltové směsi ACO 11+, úprava ČSN EN 131108 - 1						
Společnosti:	TPA ČB		SWIETELSKY		TPA PRAHA	
Asfalt:	50/70	PMB 50/80-60	50/70	PMB 50/80-55	50/70	PMB 50/80-65
ITSR (%): min 70%	82	85	84	85	74	79

Minimální požadavek na pojivo 50/70 a PMB 45/80-min55

## 6 Závěr

V bakalářské práci byla navržena a posouzena směs typu asfaltový beton pro obrusné vrstvy (ACO 11+) a její následné zkoušení na odolnost proti účinkům vody. Na základě charakteristik Marshallových těles bylo upraveno optimální složení směsi, tedy jak asfaltového pojiva, tak i oboru zrnitosti kameniva. Na dvou druhích směsi (se silničním pojivem Total 50/70 a modifikovaným asfaltem PMB 45/80-65) byly provedeny funkční laboratorní zkoušky a porovnány jednotlivé výsledky zkoušek na těchto směsích. Výsledky zkoušení odolnosti proti účinkům vody ITSr byly následně konfrontovány s ostatními výsledky z akreditovaných laboratoří, které se zapojily do inicializace za změnu národní přílohy normy ČSN EN 13108-1.

Závěr z jednotlivých výsledků funkčních zkoušek je uveden na konci každé kapitoly zabývající se danou problematikou.

Pro směs se silničním pojivem Total 50/70 byla hodnota ITSr dopočítána 92% a pro směs s modifikovaným asfaltem PMB 45/80-65 byla 98%. Hodnoty ITSr všech zúčastněných laboratoří i naší byly splněny dle normy ČSN EN 13108-1 ( $ITSr > 70\%$ ). Ve většině doložených hodnot výsledků zkoušky ITSr mají modifikované asfalty lepší odolnost proti účinkům vody, než-li asfalty silniční.

## 7 Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN 933-1 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor*. Praha: Český normalizační institut, červen 1998.
- [2] ČSN EN 993-4 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 4: Stanovení tvaru zrn – Tvarový index*. Praha: Český normalizační institut, říjen 2008.
- [3] ČSN EN 1097-2 *Zkoušení mechanických vlastností kameniva – Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení*. Praha: Český normalizační institut, červenec 1999.
- [4] ČSN EN 1426 *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007.
- [5] ČSN EN 1427 *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007.
- [6] ČSN EN 13108 -1 *Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton*.
- [7] ČSN EN 12697-5+A1 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2007.
- [8] ČSN EN 12697-6+A1 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2007.
- [9] ČSN EN 12697-8 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí*. Praha: Český normalizační institut, květen 2004.
- [10] ČSN EN 12697-12 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 12: Stavební odolnosti zkušebního tělesa*. Praha: Český normalizační institut, únor 2009.
- [11] ČSN 73 6160 *Zkoušení asfaltových směsí*. Praha: Český normalizační institut, duben 2008.
- [12] ČSN EN 12697-30+A1 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhuňovače*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2007.

- [13] ČSN EN 12697-34+A1 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 34: Marshallova zkouška*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2007.

## **8            Seznam internetových zdrojů**

- [A]    *<http://www.heidelbergcement.com/cz/cs/country/kontakty/sterk/lulec/index.htm>*
- [B]    *<https://cs.wikipedia.org/wiki/Asfalt>*

## 9 Seznam použitých zkratek

- ACO 11+ - Asfaltový beton pro ohrusné vrstvy (Asphalt concrete) s maximální velikostí kameniva 11 mm, (+) střední kvality pro dopravní zatížení II-IV
- Total 50/70 - Druh silničního asfaltu, (Total) je výrobní označení a (50/70) je rozmezí hloubky vpichu při stanovení penetrace jehlou.
- PMB 45/80-65 - Druh silničního asfaltu modifikovaného polymerem pro zlepšení vlastností (PMB), (45/80) je rozmezí hloubky vpichu při stanovení penetrace jehlou a (65) je výrobcem deklarovaná teplota bodu měknutí.
- ITSR - Poměr pevnosti v příčném tahu

## 10 Seznam obrázků

Obrázek 1: Frakce kameniva 0 – 4mm .....	15
Obrázek 2: Frakce kameniva 4 – 8 mm .....	15
Obrázek 3: Frakce kameniva 8 – 11 mm .....	15
Obrázek 4: Používané pojivo .....	16
Obrázek 5: Sloupec sít s mechanickým střešáním „strásač“ .....	19
Obrázek 6: Dvoučelistové posuvné měřítko .....	29
Obrázek 7: Typický otlukový buben pro zkoušku Los Angeles.....	31
Obrázek 8: Penetrometr .....	33
Obrázek 9: Odlité vzorky v přemísťovací misce .....	34
Obrázek 10: Automatické zařízení na stanovení bodu měknutí .....	36
Obrázek 11: Odlité vzorky (neseříznuté) v kroužkách .....	37
Obrázek 12: Míchací zařízení .....	41
Obrázek 13: Chlazení vzorku proudem vzduchu.....	41
Obrázek 14: Vytlačování vzorku .....	42
Obrázek 15: Hotový vzorek .....	42
Obrázek 16: Připravené vzorky na zkoušku pevnosti v příčném tahu.....	49
Obrázek 17: Zkušební lis .....	49
Obrázek 18: Termostaticky regulovaná sušárna .....	50



## 11 Seznam tabulek

Tabulka 1: Označení asfaltového betonu dle normy ČSN EN 13108-1 (nové a staré) .....	14
Tabulka 2: Stanovení obsahu jemných částic a zrnitosti fileru .....	21
Tabulka 3: Stanovení obsahu jemných částic a zrnitosti frakce 0/4 .....	23
Tabulka 4: Stanovení obsahu jemných částic a zrnitosti frakce 4/8 .....	25
Tabulka 5: Stanovení obsahu jemných částic a zrnitosti frakce 8/11 .....	27
Tabulka 6: Hmotnost zkušebních navážek .....	29
Tabulka 7: Výsledky zkoušky tvarového indexu.....	30
Tabulka 8: Výsledky stanovení odolnosti proti drcení (Los Angeles) .....	31
Tabulka 9: Výsledky penetrací zkušebních vzorků asfaltových pojiv .....	34
Tabulka 10: Maximální rozdíl platných stanovení .....	35
Tabulka 11: Výsledky zkoušky – stanovení bodu měknutí, metoda kroužek a kulička .....	37
Tabulka 12: Obory zrnitosti kameniva ACO 11+.....	38
Tabulka 13: Navržená čára zrnitosti ACO 11+ .....	38
Tabulka 14: Navržené optimální množství pojiva pro směs ACO 11+.....	40
Tabulka 15: Výsledky objemové hmotnosti - voda .....	45
Tabulka 16: Výsledek objemové hmotnosti zkušebních těles ACO 11+ .....	47
Tabulka 17: Výsledek mezerovitosti asfaltové směsi ACO 11+ .....	47
Tabulka 18: Objem vzorků při odolnosti proti vodě – pojivo Total 50/70.....	52
Tabulka 19: Objem vzorků při odolnosti proti vodě – pojivo PMB 45/80 - 65 .....	52
Tabulka 20: Hodnoty ze zkušebního lisu – pojivo Total 50/70.....	52
Tabulka 21: Hodnoty ze zkušebního lisu – pojivo PMB 45/80 - 65.....	53
Tabulka 22: Výpočet ITSR s pojivem Total 50/70.....	53
Tabulka 23: Výpočet ITSR s pojivem PMB 45/80 - 65 .....	53
Tabulka 24: Celkové výsledky a porovnání ITSR.....	54
Tabulka 25: Porovnání ITSR – 1.část .....	58
Tabulka 26: Porovnání ITSR – 2.část .....	58

## 12 Seznam grafů

Graf 1: Čára zrnitosti fileru.....	22
Graf 2: Čára zrnitosti frakce 0/4 .....	24
Graf 3: Čára zrnitosti frakce 4/8 .....	26
Graf 4: Čára zrnitosti frakce 8/11 .....	28
Graf 5: Suché vzorky – pojivo Total 50/70 – číslo vzorku 1.....	54
Graf 6: Suché vzorky – pojivo Total 50/70 – číslo vzorku 2.....	54
Graf 7: Suché vzorky – pojivo Total 50/70 – číslo vzorku 3.....	55
Graf 8: Mokrý vzorky – pojivo Total 50/70 – číslo vzorku 4.....	55
Graf 9: Mokrý vzorky – pojivo Total 50/70 – číslo vzorku 6.....	55
Graf 10: Mokrý vzorky – pojivo Total 50/70 – číslo vzorku 7.....	56
Graf 11: Suché vzorky – pojivo PMB 45/80 - 65 – číslo vzorku 2 .....	56
Graf 12: Suché vzorky – pojivo PMB 45/80 - 65 – číslo vzorku 5 .....	56
Graf 13: Suché vzorky – pojivo PMB 45/80 - 65 – číslo vzorku 8 .....	57
Graf 14: Mokrý vzorky – pojivo PMB 45/80 - 65 – číslo vzorku 1 .....	57
Graf 15: Mokrý vzorky – pojivo PMB 45/80 - 65 – číslo vzorku 3 .....	57
Graf 16: Mokrý vzorky – pojivo PMB 45/80 - 65 – číslo vzorku 4 .....	58